

UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE
Faculté de génie
Département de génie chimique

LA FIXATION SIMULTANÉE D'UN MÉLANGE DE DEUX COLORANTS
RÉACTIFS ET DISPERSÉS SUR UN TISSU DE COTON/POLYESTER PAR
RAYONNEMENT INFRAROUGE ET AIR CHAUD

Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées
Spécialité : génie chimique

YOUSSEF MIR

Sherbrooke (Québec), Canada

novembre 2002



Library and
Archives Canada

Bibliothèque et
Archives Canada

Published Heritage
Branch

Direction du
Patrimoine de l'édition

395 Wellington Street
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

395, rue Wellington
Ottawa ON K1A 0N4
Canada

Your file Votre référence

ISBN: 0-612-94877-3

Our file Notre référence

ISBN: 0-612-94877-3

The author has granted a non-exclusive license allowing the Library and Archives Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of this thesis in microform, paper or electronic formats.

L'auteur a accordé une licence non exclusive permettant à la Bibliothèque et Archives Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de cette thèse sous la forme de microfiche/film, de reproduction sur papier ou sur format électronique.

The author retains ownership of the copyright in this thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without the author's permission.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège cette thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

In compliance with the Canadian Privacy Act some supporting forms may have been removed from this thesis.

Conformément à la loi canadienne sur la protection de la vie privée, quelques formulaires secondaires ont été enlevés de cette thèse.

While these forms may be included in the document page count, their removal does not represent any loss of content from the thesis.

Bien que ces formulaires aient inclus dans la pagination, il n'y aura aucun contenu manquant.

Canada

RÉSUMÉ

Dans toute la littérature, il n'y a pas de procédé de coloration capable de fixer un mélange de deux colorants réactifs et dispersés sur un tissu de coton/polyester dans une seule étape rapide et continue. Actuellement dans l'industrie de textile la coloration d'un tissu de coton/polyester se fait dans deux étapes longues et dispendieuses, une pour colorer le composant coton et l'autre pour colorer le composant polyester de tissu. Parmi ces procédés on trouve le *Pad-Thermosol-Pad-Steam* et l'épuisement-*Cold-Pad-Batch*. Le problème majeur de la non-utilisation d'un procédé constituant une seule étape est la non-compatibilité chimique et thermique des deux colorants réactifs et dispersés. Au début le but de ce projet était la conception et la mise en marche d'un procédé de coloration incluant les étapes suivantes:

- L'imprégnation de tissu dans un bain contenant un mélange de colorants réactifs et dispersés.
- Le séchage par rayonnement infrarouge de la nappe imprégnée.
- Le chauffage à l'air chaud.

Ce cahier des charges a été élaboré à partir de l'étude de faisabilité réalisée par Broadbent [BROADBENT, 1999].

Nos résultats préliminaires étaient impressionnants ce qui nous a poussé à optimiser ce procédé et ensuite l'extrapoler à l'échelle industrielle avec notre partenaire Consoltex, Inc. Durant ce projet on a pu atteindre les objectifs planifiés et résoudre quelques problèmes physiques, chimiques et environnementaux. De plus on est arrivé à réaliser une coloration sans addition de sel ni d'acide avec un gain remarquable d'énergie, de temps et de colorants.

Les études menées avec succès sont:

- La conception d'un nouveau procédé de coloration pour des tissus de type coton/polyester par rayonnement infrarouge et air chaud.
- L'optimisation des paramètres opératoires mis en jeu dans ce procédé de coloration.
- Le développement de quatre recettes de colorants réactifs et dispersés compatibles chimiquement et thermiquement.
- La résolution du problème de migration des colorants dispersés sur la surface des tissus.
- La production de tissu coloré de coton/polyester de façon rapide et continue.
- L'extrapolation de ce procédé à l'échelle industrielle.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon directeur de recherche, le Professeur Arthur D. Broadbent, qui grâce à ses conseils judicieux et à ses directives éclairées, m'a dirigé vers une voie convenable. Durant mes deux années d'études, j'ai pu admirer son ascendant, son rayonnement culturel et intellectuel et son sens pédagogique clair et précis, ainsi que sa compréhension à mon égard.

Je remercie le CRSNG pour leur support financier sans lequel je n'aurais pu poursuivre mes études ainsi que Hydro-Québec pour leur aide financier.

Je remercie aussi Consoltex et Tri-tex pour leur collaboration en ce qui concerne la fourniture de tissu et de colorant.

Je remercie également les gens de Consoltex d'avoir accepté l'extrapolation de nos essais à leur usine.

Je remercie tous ceux qui, d'une façon ou d'une autre, ont contribué à la réalisation de ce travail.

J'adresse mes plus sincères remerciements à mes parents

TABLE DES MATIÈRES

RÉSUMÉ.....	I
REMERCIEMENTS.....	II
TABLE DES MATIÈRES	III
LISTE DES TABLEAUX.....	VII
LISTE DES FIGURES.....	IX
1. INTRODUCTION.....	1
1.1 INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
1.1.1 <i>Application des colorants dispersés sur le polyester</i>	1
1.1.2 <i>Application de colorants réactifs sur le coton</i>	2
1.2 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA COLORATION EN CONTINUE.....	6
1.2.1 <i>Procédé Thermosol</i>	6
1.2.2 <i>Procédé Pad-Thermosol-Pad Steam</i>	6
1.2.3 <i>Procédé Pad-Steam</i>	9
1.2.4 <i>Procédé Pad-Dry et Pad-Dry-Bake</i>	9
1.2.5 <i>Procédé de fixation par rayonnement infrarouge</i>	10
1.3 REVUE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LA COLORATION EN BATCH ET SEMI-BATCH.....	12
1.3.1 <i>Procédé d'épuisement pour la teinture du coton/polyester</i>	12
1.3.2 <i>Procédé d'épuisement suivi par le procédé Cold-Pad-Batch</i>	15
1.4 EXPOSÉ DE LA PROBLÉMATIQUE	15
1.5 OBJECTIFS DE CETTE ÉTUDE.....	16
2. MONTAGE EXPÉRIMENTAL.....	18
2.1 LE PAD.....	18
2.2 LE FOUR INFRAROUGE	18
2.3 L'ÉTUVE À AIR CHAUD.....	22
2.3.1 <i>Conception de la partie mécanique de l'étuve</i>	22
2.3.2 <i>Méthode de chauffage de l'étuve à air chaud</i>	22

3. MÉTHODOLOGIE.....	25
3.1 MÉTHODE TECHNIQUE.....	25
3.1.1 <i>Les recettes utilisées</i>	25
3.1.2 <i>Procédure expérimentale</i>	29
3.1.3 <i>Le tissu témoin</i>	31
3.1.4 <i>Calcul théorique</i>	33
3.2 MÉTHODE ANALYTIQUE.....	34
3.2.1 <i>La colorimétrie</i>	34
3.3 L'ÉVALUATION DE LA QUALITÉ DES TISSUS.....	40
3.3.1 <i>Test de l'acétone</i>	40
3.3.2 <i>Test de dégorgement</i>	41
3.3.3 <i>Test de la lumière</i>	41
3.3.4 <i>Test du toucher</i>	42
3.4 MICROSCOPIE OPTIQUE.....	42
3.4.1 <i>Introduction</i>	42
3.4.2 <i>Procédure expérimentale</i>	42
3.5 PROCÉDURE EXPÉRIMENTALE DES ESSAIS EN CONTINUE AU LABORATOIRE	43
3.6 MODE OPÉRATOIRE UTILISÉ À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE	43
3.6.1 <i>Description de l'équipement de l'usine</i>	43
3.6.2 <i>Procédure expérimentale</i>	44
4. RÉSULTATS ET DISCUSSION.....	45
4.1 INFLUENCE DES PARAMÈTRES OPÉRATOIRES	45
4.1.1 <i>Introduction</i>	45
4.1.2 <i>Influence du voltage des émetteurs du four infrarouge</i>	45
4.1.3 <i>Influence de la vitesse de défilement du tissu</i>	48
4.1.4 <i>Influence de la concentration de l'alcali</i>	49
4.2 COMPARAISON ENTRE NOTRE PROCÉDÉ PILOTE ET L'ÉPUISEMENT.....	51
4.2.1 <i>Introduction</i>	51
4.2.2 <i>Light Green</i>	52
4.2.3 <i>Dark Green</i>	54

4.2.4 <i>Peat Green</i>	56
4.2.5 <i>Violet</i>	57
4.2.6 <i>Conclusions</i>	60
4.3 MIGRATION DES COLORANTS DISPERSÉS	62
4.3.1 <i>Introduction</i>	62
4.3.2 <i>Procédure expérimentale</i>	63
4.3.3 <i>Light Green2</i>	63
4.3.4 <i>Dark Green2</i>	66
4.3.5 <i>Peat Green2</i>	68
4.3.6 <i>Violet2</i>	70
4.3.7 <i>Discussions et résultats</i>	72
4.4 TESTS QUALITATIFS.....	73
4.4.1 <i>Test d'acétone</i>	73
4.4.2 <i>Test de dégorgement</i>	75
4.4.3 <i>Test de la lumière</i>	77
4.4.4 <i>Test du toucher</i>	80
4.5 EXAMEN DE LA MICROSCOPIE OPTIQUE	80
4.5.1 <i>Résultats des sections transversales</i>	80
4.5.2 <i>Discussion des résultats</i>	83
4.6 CONCLUSIONS	83
5. LES ESSAIS EN CONTINUE.....	85
5.1 RÉSULTATS	86
5.1.1 <i>Light Green2</i>	86
5.1.2 <i>Dark Green2</i>	89
5.1.3 <i>Peat Green2</i>	91
5.1.4 <i>Violet2</i>	93
5.1.5 <i>Comparaison entre les essais en continue et ceux en batch</i>	95
5.2 CONCLUSION ET DISCUSSION	96
6. LES ESSAIS À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE	98
6.1 RÉSULTATS TROUVÉS	98

6.1.1 <i>Peat Green2</i>	98
6.1.2 <i>Dark Green2</i>	101
6.1.3 <i>Violet2</i>	104
6.2 DISCUSSION DES RÉSULTATS OBTENUS À L'USINE	107
6.3 COMPARAISON ENTRE LES ÉCHANTILLONS DE L'USINE ET CEUX DU LABORATOIRE.....	108
6.3.1 <i>Introduction</i>	108
6.3.2 <i>Test de l'acétone</i>	108
6.3.3 <i>Test de dégorgement</i>	109
6.3.4 <i>Test du toucher</i>	110
6.3.5 <i>Différence de couleur entre le laboratoire et l'usine</i>	110
6.4 CONCLUSION	111
7. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.....	113
BIBLIOGRAPHIE	116

LISTE DES TABLEAUX

TABEAU 3.1 : COMPOSITION ET MODE OPÉRATOIRE DE LA RECETTE <i>LIGHT GREEN</i>	26
TABEAU 3.2 : COMPOSITION ET MODE OPÉRATOIRE DE LA RECETTE <i>PEAT GREEN</i>	27
TABEAU 3.3 : COMPOSITION ET MODE OPÉRATOIRE DE LA RECETTE <i>VIOLET</i>	28
TABEAU 4.1 : COMPOSITION DE LA RECETTE <i>PEAT GREEN</i>	46
TABEAU 4.2 : CONDITIONS OPÉRATOIRES UTILISÉES POUR LES QUATRE RECETTES	52
TABEAU 4.3 : COMPOSITION DE LA RECETTE <i>LIGHT GREEN</i>	53
TABEAU 4.4 : COMPOSITION DE LA RECETTE <i>DARK GREEN</i>	55
TABEAU 4.5 : COMPOSITION DE LA RECETTE <i>VIOLET</i>	58
TABEAU 4.6 : LES VALEURS DU RENDEMENT DE FIXATION ET DE DIFFÉRENCE DE COULEUR POUR LES QUATRE RECETTES	61
TABEAU 4.7 : COMPOSITION DE LA RECETTE <i>LIGHT GREEN</i> ²	64
TABEAU 4.8 : COMPOSITION DE LA RECETTE <i>DARK GREEN</i> ²	66
TABEAU 4.9 : COMPOSITION DE LA RECETTE <i>PEAT GREEN</i> ²	68
TABEAU 4.10 : COMPOSITION DE LA RECETTE <i>VIOLET</i> ²	70
TABEAU 4.11 : LES RÉSULTATS RÉCAPITULATIFS DE LA SECTION 4.3.....	72
TABEAU 4.12 : RÉSULTATS DU TEST D'ACÉTONE POUR LES ÉCHANTILLONS TEINTS PAR ÉPUISEMENT.....	74
TABEAU 4.13 : RÉSULTATS DU TEST D'ACÉTONE POUR LES ÉCHANTILLONS TEINTS PAR IR+AC	74
TABEAU 4.14 : RÉSULTATS DU TEST DE DÉGORGEMENT POUR LES ÉCHANTILLONS TEINTS PAR ÉPUISEMENT.....	75
TABEAU 4.15 : RÉSULTATS DU TEST DE DÉGORGEMENT POUR LES ÉCHANTILLONS TEINTS PAR IR+AC.....	76
TABEAU 4.16 : ANALYSE PLUS PROFOND DU TEST DE LA LUMIÈRE.....	79
TABEAU 5.1 : CONDITIONS OPÉRATOIRES UTILISÉES AU LABORATOIRE POUR LES ESSAIS EN CONTINUE	85
TABEAU 5.2 : COMPARAISON ENTRE LES ESSAIS EN CONTINUE ET CEUX EN BATCH POUR DES QUATRE RECETTES (IR+AC).....	95

TABLEAU 5.3 : LES VALEURS DE L'ÉCART TYPE ET LA MOYENNE POUR ΔE , Rdt ET fK DES QUATRE RECETTES (IR+AC).....	97
TABLEAU 6.1 : CONDITIONS OPÉRATOIRES UTILISÉES À L'USINE (<i>PEAT GREEN2</i>)	99
TABLEAU 6.2 : CONDITIONS OPÉRATOIRES UTILISÉES À L'USINE (<i>DARK GREEN2</i>).....	102
TABLEAU 6.3 : LES VALEURS DE L'ÉCART TYPE ET LA MOYENNE POUR ΔE , Rdt ET fK DES TROIS RECETTES (USINE)	107
TABLEAU 6.4 : RÉSULTATS DU TEST D'ACÉTONE POUR LES ÉCHANTILLONS TEINTS AU LABORATOIRE ET CEUX TEINTS À L'USINE PAR LE PROCÉDÉ IR+AC.....	109
TABLEAU 6.5 : RÉSULTATS DU TEST DE DÉGORGEMENT POUR LES ÉCHANTILLONS TEINTS AU LABORATOIRE ET CEUX TEINTS À L'USINE PAR LE PROCÉDÉ IR+AC.....	110
TABLEAU 6.6 : LA DIFFÉRENCE DE COULEUR ET DE L , a , b ENTRE LES ÉCHANTILLONS TEINTS AU LABORATOIRE ET CEUX TEINTS À L'USINE PAR LE PROCÉDÉ IR+AC	111

LISTE DES FIGURES

FIGURE 1.1 : DEUX STRUCTURES DE COLORANTS DISPERSÉS	1
FIGURE 1.2 : SCHÉMA DE LA STRUCTURE DU COLORANT RÉACTIF	2
FIGURE 1.3 : DEUX TYPES DE CHROMOPHORE LES PLUS UTILISÉS (X EST LE GROUPE RÉACTIF).3	
FIGURE 1.4 : STRUCTURE DU GROUPE RÉACTIF DICHLOROTRIAZINE ET VINYLSULFONE.....	3
FIGURE 1.5 : STRUCTURE DU COLORANT RÉACTIF DICHLOROTRIAZINE.....	4
FIGURE 1.6 : DISSOCIATION ACIDE DE LA CELLULOSE.....	4
FIGURE 1.7 : RÉACTIONS DE FIXATION ET D'HYDROLYSE DU COLORANT RÉACTIF.....	5
FIGURE 1.8 : SCHÉMA DU PROCÉDÉ PAD- <i>THERMOSOL</i> -PAD- <i>STEAM</i>	8
FIGURE 1.9 : MACHINE À JET <i>THEN-AIRFLOW</i>	14
FIGURE 2.1 : SCHÉMA DE PAD	18
FIGURE 2.2 : FOUR INFRAROUGE	20
FIGURE 2.3 : SCHÉMA DU FOUR INFRAROUGE.....	21
FIGURE 2.4 : SCHÉMA DE L'ÉTUVE À AIR CHAUD.....	23
FIGURE 2.5 : SCHÉMA GÉNÉRAL DU PROCÉDÉ INFRAROUGE + AIR CHAUD	24
FIGURE 3.1 : PHOTO DE LA MACHINE <i>POLYCOLOR</i>	32
FIGURE 3.2 : SCHÉMA DE L'ESPACE CIELAB	35
FIGURE 3.3 : SCHÉMA EXPLICATIF POUR LE CALCUL DE ΔE	36
FIGURE 3.4 : SCHÉMA EXPLICATIF POUR LE CALCUL DE ΔC et ΔH	37
FIGURE 4.1 : LA COURBE DE K/S EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE À VOLTAGE DIFFÉRENT (<i>PEAT GREEN</i>)	47
FIGURE 4.2 : LA COURBE DE K/S EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE À DES TEMPS DE RÉSIDENCE DIFFÉRENTS (<i>PEAT GREEN</i>)	49
FIGURE 4.3 : LA COURBE DE K/S EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE POUR LA COMPARAISON ENTRE SODA ASH ET NaOH (<i>PEAT GREEN</i>)	50
FIGURE 4.4 : COURBE DE K/S EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE (<i>LIGHT GREEN</i>)	54
FIGURE 4.5 : COURBE K/S EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE (<i>DARK GREEN</i>)	56
FIGURE 4.6 : COURBE DE K/S EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE (<i>PEAT GREEN</i>)	57
FIGURE 4.7 : COURBE DE K/S EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE (<i>VIOLET</i>).....	59
FIGURE 4.8 : COURBE DE K/S EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE (<i>LIGHT GREEN2</i>)	65

FIGURE 4.9 : COURBE DE K/S EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE (<i>DARK GREEN2</i>)	67
FIGURE 4.10 : COURBE DE K/S EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE (<i>PEAT GREEN2</i>).....	69
FIGURE 4.11 : COURBE DE K/S EN FONCTION DE LA LONGUEUR D'ONDE (<i>VIOLET2</i>).....	71
FIGURE 4.12 : LA FORCE DE COULEUR EN FONCTION DU TEMPS POUR LE PROCÉDÉ D'ÉPUISEMENT.....	77
FIGURE 4.13 : LA FORCE DE COULEUR EN FONCTION DU TEMPS POUR LE PROCÉDÉ IR+AC.....	78
FIGURE 4.14 : PHOTOS OBTENUES DE LA MICROSCOPIE OPTIQUE DES COUPES TRANSVERSALES DES ÉCHANTILLONS TEINTS PAR ÉPUISEMENT ET IR+AC SUCCESIVEMENT POUR LA RECETTE <i>VIOLET2</i>	81
FIGURE 4.15 : PHOTOS OBTENUES PAR MICROSCOPIE OPTIQUE DES COUPES TRANSVERSALES DES ÉCHANTILLONS TEINTS PAR ÉPUISEMENT ET IR+AC SUCCESIVEMENT POUR LA RECETTE <i>PEAT GREEN2</i>	82
FIGURE 5.1 : COURBE DE VARIATION DE DIFFÉRENCE DE COULEUR EN FONCTION DU TEMPS (<i>LIGHT GREEN2</i>)	86
FIGURE 5.2 : COURBE DE VARIATION DU RENDEMENT DE FIXATION EN FONCTION DU TEMPS (<i>LIGHT GREEN2</i>)	87
FIGURE 5.3 : COURBE DE VARIATION DU fK EN FONCTION DU TEMPS (<i>LIGHT GREEN2</i>).....	88
FIGURE 5.4 : COURBE DE VARIATION DE DIFFÉRENCE DE COULEUR EN FONCTION DU TEMPS (<i>DARK GREEN2</i>).....	89
FIGURE 5.5 : COURBE DE VARIATION DU RENDEMENT DE FIXATION EN FONCTION DU TEMPS (<i>DARK GREEN2</i>).....	89
FIGURE 5.6 : COURBE DE VARIATION DU fK EN FONCTION DU TEMPS (<i>DARK GREEN2</i>).....	90
FIGURE 5.7 : COURBE DE VARIATION DE DIFFÉRENCE DE COULEUR EN FONCTION DU TEMPS (<i>PEAT GREEN2</i>)	91
FIGURE 5.8 : COURBE DE VARIATION DU RENDEMENT DE FIXATION EN FONCTION DU TEMPS	91
(<i>PEAT GREEN2</i>)	91
FIGURE 5.9 : COURBE DE VARIATION fK DE FIXATION EN FONCTION DU TEMPS	92
(<i>PEAT GREEN2</i>)	92
FIGURE 5.10 : COURBE DE VARIATION DE DIFFÉRENCE DE COULEUR EN FONCTION DU TEMPS (<i>VIOLET2</i>).....	93

FIGURE 5.11 : COURBE DE VARIATION DU RENDEMENT DE FIXATION EN FONCTION DU TEMPS (<i>VIOLET2</i>)	93
FIGURE 5.12 : COURBE DE VARIATION DU fK EN FONCTION DU TEMPS (<i>VIOLET2</i>)	94
FIGURE 6.1 : COURBE DE VARIATION DE DIFFÉRENCE DE COULEUR EN FONCTION DE LA LONGUEUR DE TISSU (<i>PEAT GREEN2</i> USINE).	100
FIGURE 6.2 : COURBE DE VARIATION DU RENDEMENT DE FIXATION EN FONCTION DE LA LONGUEUR DE TISSU (<i>PEAT GREEN2</i> USINE)	100
FIGURE 6.3 : VARIATION DU fK EN FONCTION DE LA LONGUEUR DE TISSU (<i>PEAT GREEN2</i> USINE)	101
FIGURE 6.4 : COURBE DE VARIATION DE DIFFÉRENCE DE COULEUR EN FONCTION DU TEMPS (<i>DARK GREEN2</i> USINE).	103
FIGURE 6.5 : COURBE DE VARIATION DE RENDEMENT DE FIXATION EN FONCTION DU TEMPS (<i>DARK GREEN2</i> USINE)	103
FIGURE 6.6 : COURBE DE VARIATION DU fK EN FONCTION DE LA LONGUEUR DE TISSU (<i>DARK</i> <i>GREEN2</i> USINE)	104
FIGURE 6.7 : COURBE DE VARIATION DE DIFFÉRENCE DE COULEUR EN FONCTION DU TEMPS (<i>VIOLET2</i> USINE).....	105
FIGURE 6.8 : COURBE DE VARIATION DE RENDEMENT DE FIXATION EN FONCTION DU TEMPS (<i>VIOLET2</i> USINE)	105
FIGURE 6.9 : COURBE DE VARIATION DU fK EN FONCTION DE LA LONGUEUR DE TISSU (<i>VIOLET2</i> USINE)	106

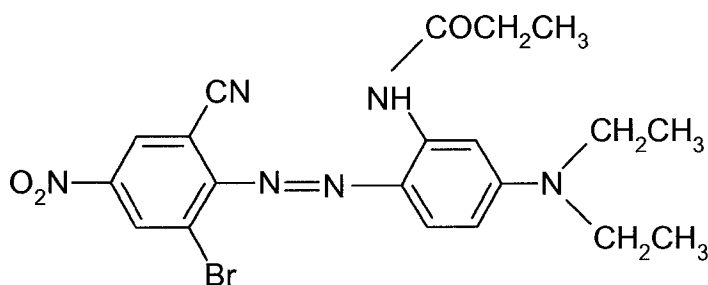
1. INTRODUCTION

1.1 Introduction générale

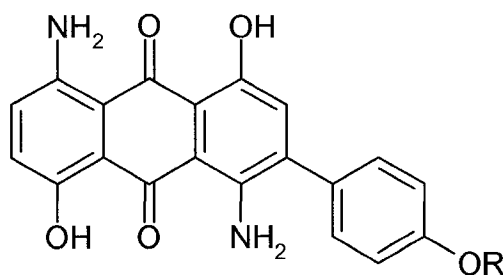
1.1.1 Application des colorants dispersés sur le polyester

a) Définition des colorants dispersés

Les colorants dispersés sont des molécules non-ioniques et hydrophobes ce qui augmente leur insolubilité dans l'eau. Ils peuvent être appliqués sur le nylon, l'acétate de cellulose, l'acrylique et d'autres fibres, mais leur utilisation est limitée le plus souvent aux polyesters. Deux structures de ces colorants sont schématisées à la Figure 1.1 [PERKINS, 1996].



Type monoazo (*Disperse Blue 183*)



Type anthraquinone (*Disperse Blue 73*)

Figure 1.1 : Deux structures de colorants dispersés

b) Mécanisme de fixation des colorants dispersés sur le polyester

Le mécanisme de fixation de ce genre de colorant sur le polyester est assez compliqué, et il dépend du genre de procédé utilisé. Généralement, dans un procédé batch en milieu aqueux, il se fait suivant les étapes suivantes:

- La dispersion des particules de ce colorant dans l'eau à l'aide des agents dispersants.
- La formation d'une solution solide sur la couche d'interface entre la solution du colorant et le polyester.
- L'adsorption du colorant par les matrices de polymère à l'aide des véhiculeurs appropriés et sous une température assez élevée.

La fixation à partir de la phase gazeuse est décrit dans la section suivante.

1.1.2 Application de colorants réactifs sur le coton

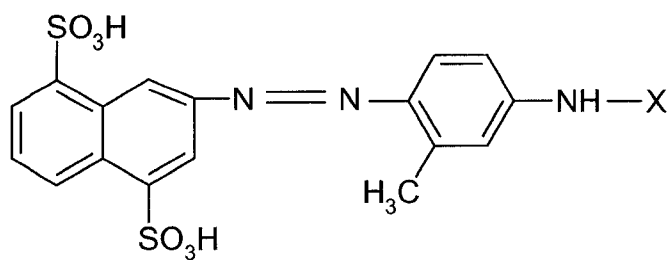
a) Définition de colorants réactifs

Les colorants réactifs sont constitués d'un chromophore attaché à un groupe réactif. Ce chromophore est le responsable de la couleur dans la molécule, alors que le groupe réactif est responsable de la réaction colorant-fibre. La figure 1.2 montre un schéma explicatif de la structure du colorant réactif.

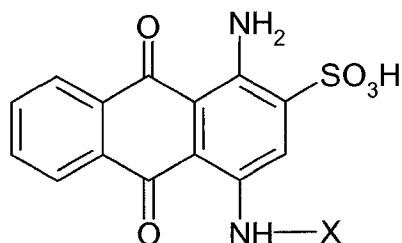


Figure 1.2 : Schéma de la structure du colorant réactif

Les chromophores retrouvés le plus souvent dans un colorant réactif sont : monazo, anthraquinone, phthalocyanine, triphenodioxazine ou formazan. Les plus utilisés sont les deux premiers. La Figure 1.3 montre la structure de ces deux chromophores:



Type monoazo



Type anthraquinone

Figure 1.3 : Deux types de chromophore les plus utilisés (X est le groupe réactif)

Il existe plusieurs types de groupes réactifs; les plus utilisés sont le triazine et le vinylsulfone de formules suivantes:

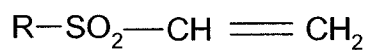
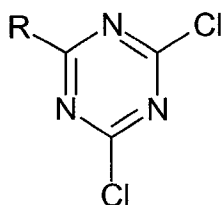


Figure 1.4 : Structure du groupe réactif dichlorotriazine et vinylsulfone

Ainsi la structure d'un colorant réactif est celle schématisée dans la Figure 1.5

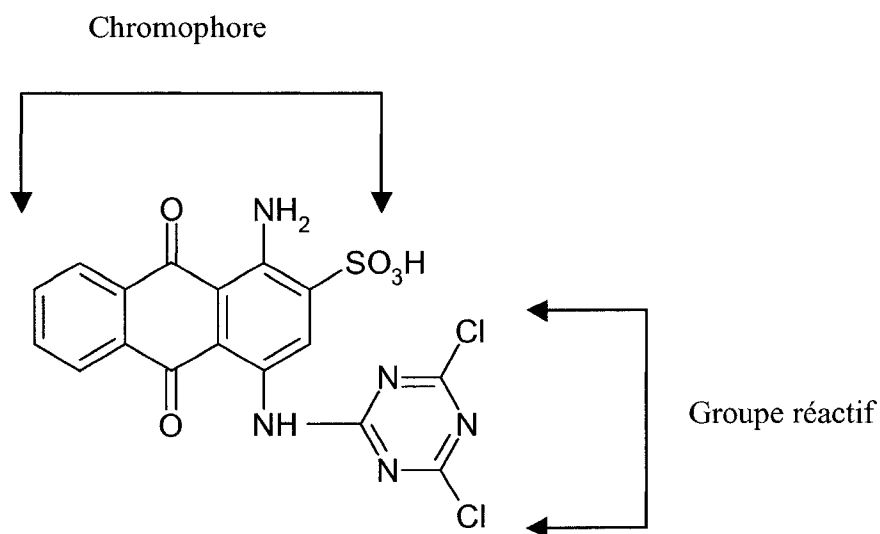


Figure 1.5 : Structure du colorant réactif dichlorotriazine

b) Mécanisme de fixation des colorants réactifs sur le coton

Un colorant réactif est un colorant anionique qui d'après sa structure moléculaire forme une liaison covalente avec le groupe hydroxyle de la cellulose. Ce polymère de nature hydrophile se gonfle dans l'eau et perd un proton (H^+) en présence de (OH^-) ce qui le rend très actif et capable de réagir avec le groupe fonctionnel du colorant réactif. De plus il faut prendre en considération que le colorant réactif est hydrolysable en présence de l'eau. Cette dernière réaction est à éviter car elle diminue l'efficacité du colorant réactif. Les mécanismes de ces réactions sont mentionnés dans les Figures 1.6 et 1.7.

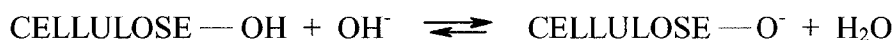


Figure 1.6 : Dissociation acide de la cellulose

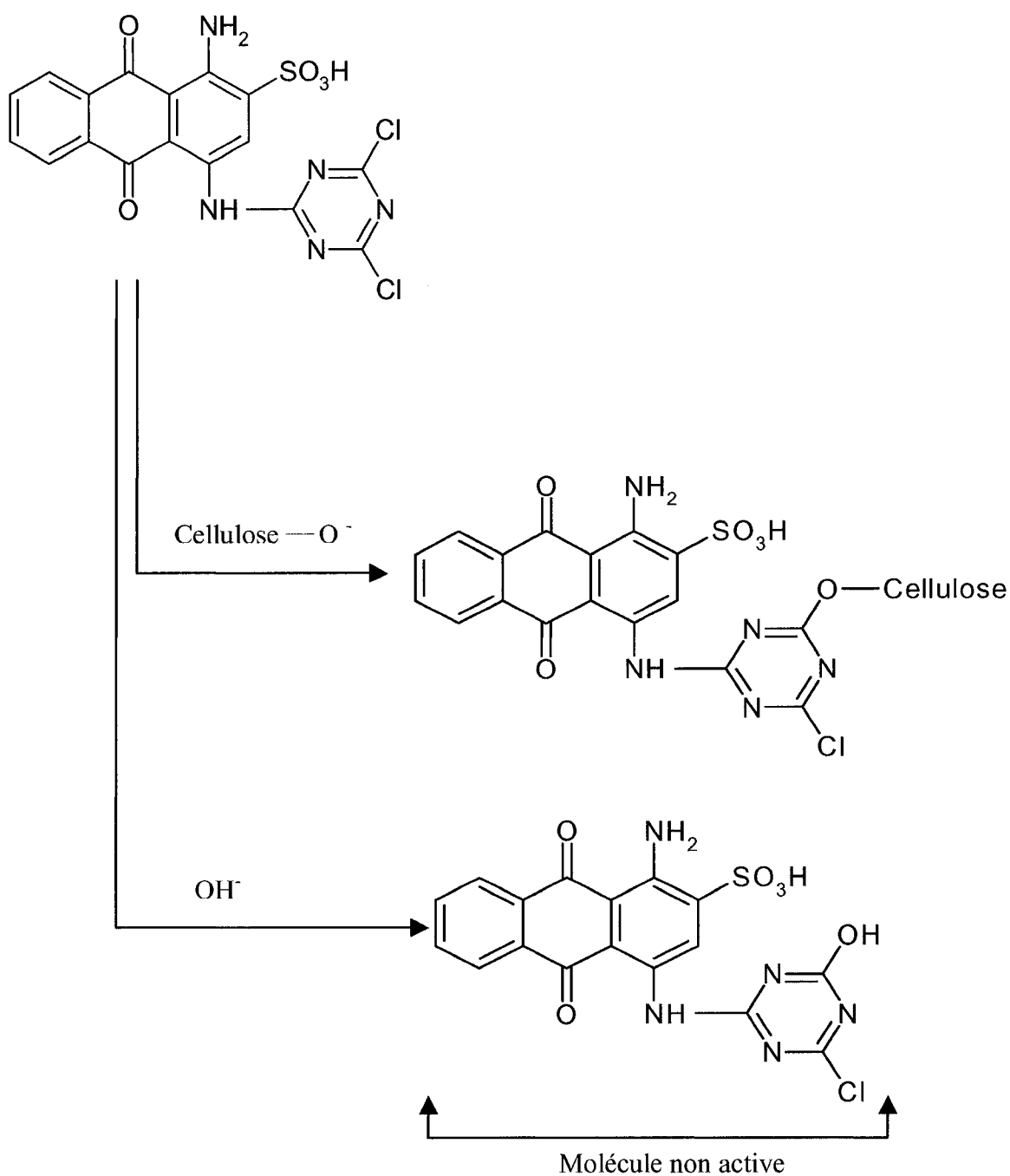


Figure 1.7 : Réactions de fixation et d'hydrolyse du colorant réactif

1.2 Revue bibliographique sur la coloration en continue

1.2.1 Procédé *Thermosol*

Ce procédé de coloration de polyester avec les colorants dispersés suit les étapes suivantes:

- Imprégnation du tissu avec une dispersion des colorants plus un anti-migrant.
- Séchage du tissu imprégné sous des conditions douces pour éviter la migration du colorant.
- Thermofixation du colorant à une température autour de 200°C pendant 30-60 s.
- Lavage du tissu pour enlever le colorant non-fixé.

Ce procédé est appelé *Thermosol* originalement développé par la société Du Pont.

Plusieurs études ont montré que la teinture des fibres de polyester est faite par un mécanisme impliquant la sublimation du colorant non-ionique suivi par l'absorption du colorant en phase gazeuse par les fibres de polyester dans lesquelles le colorant est très soluble [PRESTON, 1986]. Ceci a été démontré dans une étude classique. Ils ont montré que dans un bain d'imprégnation, le colorant dispersé utilisé pour la coloration d'un tissu de polyester/coton 70/30 % se divise en 30% de couleur seulement pour le polyester et 70% pour le coton, c'est à dire l'inverse de la proportion du mélange des fibres [PRESTON, 1986]. Donc, la concentration du colorant dispersé dans les fibres (g colorant / g fibre) avant la thermofixation est plus grande cinq fois sur le coton que sur le polyester. Ceci est une conséquence de la bonne absorption de l'eau par les fibres de coton. De plus, pendant la thermofixation, le colorant a été transféré du coton au polyester et ceci peut être expliqué par le transfert du colorant à travers la phase gazeuse [PRESTON, 1986].

1.2.2 Procédé *Pad-Thermosol-Pad Steam*

Le Pad est une unité d'imprégnation et d'essorage d'un tissu dans lequel on trouve un bain suivi par des rouleaux de pression pour enlever la solution excédante des colorants. On va discuter largement de cette unité dans le deuxième chapitre.

Ce procédé regroupe deux procédés pour colorer continuellement les deux fibres coton/polyester mais dans deux Pad (bain ou foulard).

La Figure 1.8 donne un schéma global de ce procédé.

Les inconvénients de ce procédé sont généralisés comme suit:

- L'équipement demande une longueur de tissu d'au moins de 450 m, nécessitant ainsi beaucoup d'espace.
- Le lavage de toutes les unités est difficile à faire surtout s'il y a un passage d'une couleur foncée à une couleur pâle.
- Le procédé demande beaucoup d'énergie thermique et de main d'œuvre.

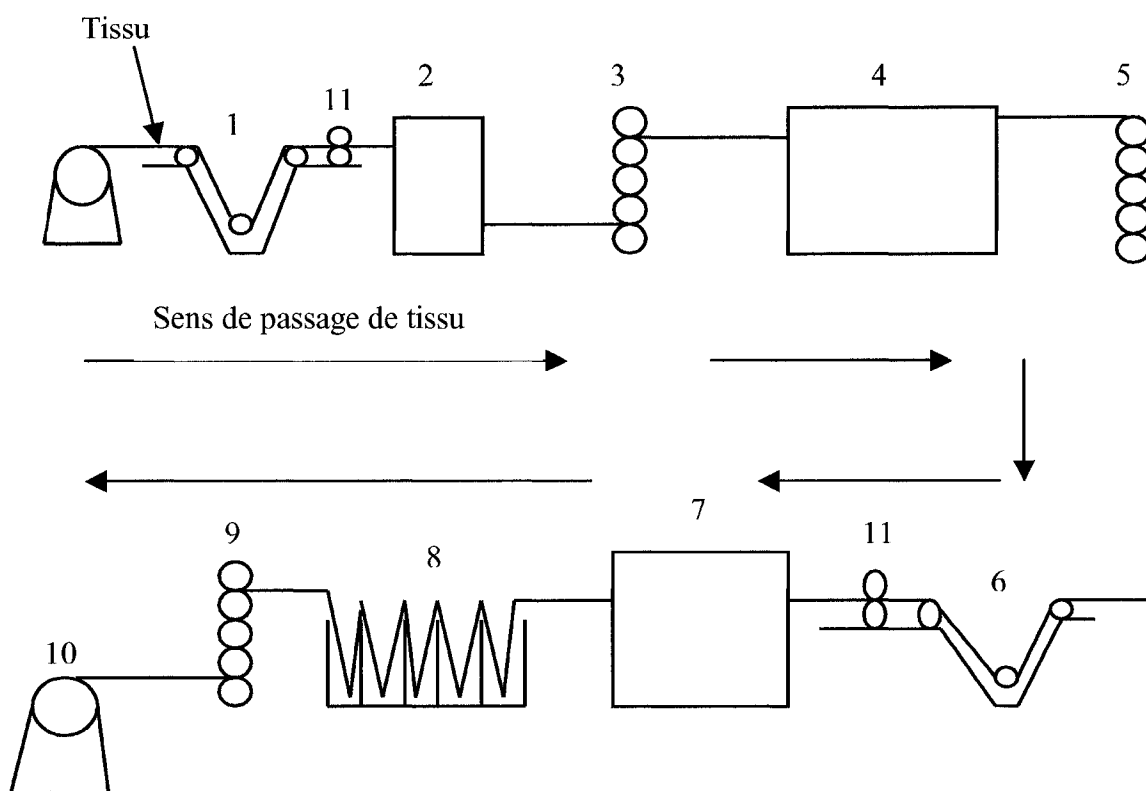


Figure 1.8 : Schéma du procédé Pad-*Thermosol*-Pad-*Steam*

- 1 = Le bain de Pad dans lequel il y a des colorants réactifs, des colorants dispersés, des agents dispersants et de l'anti-migrant
- 2 = Pré-séchage de tissu souvent par l'infrarouge à gaz
- 3 = Séchage de tissu pour qu'il rentre sec au four où s'effectue le *Thermosol*
- 4 = Fixation des colorants dispersés sur la partie polyester sous une température de 210°C
- 5 = Refroidissement de tissu
- 6 = Le bain de Pad contenant une solution alcaline
- 7 = Four de la vapeur d'eau (*Steam*) sous une température entre 102 et 105°C pour la fixation des colorants réactifs sur la partie coton
- 8 = Lavage de tissu pour enlever les colorants non fixés
- 9 = Séchage de tissu
- 10 = Accumulation de tissu
- 11 = Rouleaux de pression pour enlever les colorants excédants

1.2.3 Procédé Pad-*Steam*

Vers la fin des années 70 les colorants de soufre ont produit des grands résultats dans le domaine de la coloration continue par le procédé Pad-*Steam*, ces derniers ont été utilisés pour colorer des millions de mètres chaque semaine durant le boom des velours côtelés [PRESTON, 1986].

Le procédé Pad-*Steam* pour l'application de colorants réactifs comprend quatre étapes [PRESTON, 1986].

1. Imprégnation du tissu avec une solution alcaline du colorant contenant du sel.
2. Vaporisation du tissu imprégné par la vapeur faiblement surchauffée à 102-105°C.
3. Lavage en continue du tissu teint pour éliminer les sels et le colorant non-fixé; procédé qui comprend les étapes de rinçage et de savonnage à une température proche de 100°C.
4. Séchage du tissu.

Ce genre de fixation thermique sous conditions humides ne donne qu'un rendement de fixation moyen du colorant réactif de l'ordre de 60-80% pour les tissus de 100% coton et moins pour ceux de coton/polyester en conséquence de l'hydrolyse du groupe réactif sous conditions chaudes et humides.

1.2.4 Procédé Pad-*Dry* et Pad-*Dry-Bake*

Ces dernières années un certain nombre de voies a été suggéré pour éviter la méthode Pad-*Steam* utilisant la fixation du colorant par un séchage intermédiaire.

Pour les colorants réactifs de haute réactivité, tels que ceux portant un groupe réactif du type dichlorotriazine, une bonne teinture est possible par un séchage simple du tissu imprégné avec une solution du colorant et de bicarbonate de sodium (procédé Pad-*Dry* de ICI). Pendant le séchage, le bicarbonate se décompose formant du CO₂ et du carbonate, un alcali plus efficace pour l'activation de la cellulose. Lorsque les colorants sont moins réactifs, la fixation par voie thermique est possible par une étape de cuisson après le séchage du tissu mais en présence d'un alcali plus fort tel qu'un mélange de carbonate de sodium et de la soude [PRESTON, 1986].

1.2.5 Procédé de fixation par rayonnement infrarouge

Munch et col. ont remarqué que les rayonnements infrarouges peuvent élever la température du tissu humide en un temps très court provoquant ainsi une diminution de sa teneur en eau tout en gardant la bonne qualité de tissu. L'évaporation de l'eau est de l'ordre de 30 à 40 % [MUNCH et col., 1985].

Les avantages de ce procédé ont été confirmés par beaucoup de chercheurs de laboratoire de textile de l'Université de Sherbrooke dirigé par les Professeurs Broadbent et Thérien [COTÉ, 1988], [COTÉ et col., 1990], [FORGET, 1990], [THERIEN et col., 1991], [FORGET et col., 1993], [BROADBENT et col., 1994], [DHIB, 1994], [DHIB, et col., 1994] et [SLITINE, 1995].

Hamoudi [HAMOUDI, 1990] a trouvé que le chauffage par rayonnement infrarouge a beaucoup d'avantages comme par exemple:

- Le contrôle de la dégradation des fibres.
- Un échange thermique rapide.
- L'oxydation des fibres est négligeable.
- Le mode de dissipation de la chaleur est en profondeur.
- La faible inertie thermique évite une longue période de chauffage.
- La consommation d'énergie est raisonnable.
- La température est facilement contrôlable mais nécessite une grande précision.

L'inconvénient des étapes de coloration et de finition des textiles est le degré de coloration des eaux usées qui pose un problème environnemental. Or, la méthode de chauffage par infrarouge permet de réduire la pollution dans l'effluent de lavage et ainsi augmenter la productibilité [SINGLETON, 1980].

Le séchage infrarouge permet une évaporation rapide de l'eau partout dans la nappe et supprime significativement la migration du colorant non-fixé pendant la période initiale du séchage. Ainsi ce procédé donne un rendement de fixation remarquable. Par contre, la coloration est plus pâle en conséquence d'une fixation uniforme à travers l'ensemble des fibres du tissu. Pendant le séchage à l'air chaud, l'évaporation de l'eau a lieu principalement aux surfaces des filés. Tout colorant non-fixé est libre de migrer à la surface d'évaporation pendant la période de

séchage à taux constant [BROADBENT et col., 1998].. Cependant, ce procédé a donné une bonne coloration en conséquence de la concentration du colorant à la surface de tissu. La coloration produite par le séchage infrarouge est interprétée en terme de la suppression de ce type de migration [BROADBENT et col., 1998].

Donc il y a une relation entre le rendement élevé de la fixation obtenue par rayonnement infrarouge et la suppression de la migration des colorants indiqués par la coloration pâle. On va aborder ce problème dans le chapitre 4.

Cette conclusion a été vérifiée par une étude de comparaison faite sur des coupes transversales des fibres teintées. Le microscope a montré une distribution uniforme du colorant pour les tissus teints par thermofixation à l'infrarouge alors que les filés de tissu pour lesquels le colorant est fixé par air chaud montrent une coloration superficielle [ZHAO, 1999].

La fixation de colorants réactifs sur un tissu de coton aux moyens du rayonnement infrarouge a été conçue et analysée en utilisant la méthode des deux plans factoriels [BROADBENT et col., 1995]. Ceci a montré l'influence des variables opérationnelles sur le rendement de fixation du colorant et bien évidemment sur la température finale et sur le contenu en eau. La vitesse du tissu et la puissance des émetteurs infrarouge sont des variables importantes pour l'opération de fixation. De plus, le rendement dépend fortement du type de l'alcali et de sa concentration dans le bain d'imprégnation.

La fixation du colorant réactif par séchage infrarouge donne un rendement plus élevé que celle obtenue en utilisant seulement de l'air chaud [ZHAO, 1999].

Le procédé de coloration à l'air chaud permet une coloration similaire au procédé *Cold Pad Batch*. Pour ce dernier la migration est présumée absente [BROADBENT et col., 1995].

Dans l'industrie du textile, le chauffage infrarouge peut être applicable dans un grand nombre de domaines autres que le séchage. Parmi eux on trouve:

- La cuisson.
- La fixation des colorants.
- La thermofixation.

Ceci a été abordé par Hamoudi [HAMOUDI, 1990].

Pour la teinture de coton aux moyens de rayonnement infrarouge, l'addition du sel à la solution du colorant n'augmente que marginalement les rendements de fixation. De plus son influence est mineure aux faibles rapports du bain typique de foulardage [ZHAO, 1999]. Le même auteur a trouvé que l'influence de l'urée sur le rendement de fixation varie d'un colorant à l'autre. Donc, en utilisant le chauffage par infrarouge on peut probablement éliminer ces deux constituants pour abaisser la charge polluante de l'effluent de lavage.

Les études conduites par le groupe de recherche en textile de l'Université de Sherbrooke ont montré que, la fixation simultanée d'un mélange de colorants réactifs et dispersés compatible sur un tissu de coton/polyester était faisable. Ce procédé implique l'utilisation d'un procédé d'imprégnation suivi d'une étape de chauffage par infrarouge plus séchage à l'air chaud [BROADBENT, 1999]. Ainsi ce genre de procédé permettrait la teinture en continue par une méthode rapide et efficace.

1.3 Revue bibliographique sur la coloration en batch et semi-batch

1.3.1 Procédé d'épuisement pour la teinture du coton/polyester

Ce procédé est parmi les procédés les plus utilisés actuellement dans l'industrie du textile. Il implique la fixation de deux colorants réactifs et dispersés sur un tissu de coton/polyester mais en utilisant deux bains différents.

Suite à une étude menée sur *Disperse Red 343* et *Reactive Green 12*, Yang et col. [YANG et col., 2000] ont trouvé que le premier exige une haute température de coloration de l'ordre de 130°C et un pH inférieur à 10, alors que le deuxième nécessite un pH variant entre 10 et 12 et une température inférieure à 100°C.

Shukla et col. [SHUKLA et col., 1998] ont trouvé que le colorant dispersé utilisé pour la coloration du composant polyester d'un mélange de coton/polyester est appliqué à 130°C et à pH entre 4.5 et 5.5 alors que pour le composant coton, le colorant réactif doit avoir une faible réactivité, exigeant un pH alcalin d'environ 10 et une température de 80 à 90°C.

Ce procédé comporte les étapes suivantes:

- Remplissage du bain de coloration par les colorants dispersés, l'agent dispersant et l'acide;
- Entraînement du tissu de coton/polyester dans le bain pour colorer la partie polyester à 130 °C;
- Vidange du bain;
- Remplissage du bain de coloration avec les colorants réactifs, l'alcali et le sel;
- La coloration de la partie coton sous une température de 60°C;
- Vidange du bain;
- Lavage du tissu final.

Les inconvénients de ce procédé sont:

- La lenteur du procédé (beaucoup d'étapes de remplissage, de vidange et de lavage)
- La consommation importante d'énergie pour le chauffage et le refroidissement de l'appareil.
- L'utilisation de quantité appréciable de sel. C'est un problème environnemental rencontré par beaucoup de teinturiers qui utilisent les colorants réactifs.

La Figure 1.9 illustre la machine à jet dans laquelle s'effectue le procédé d'épuisement

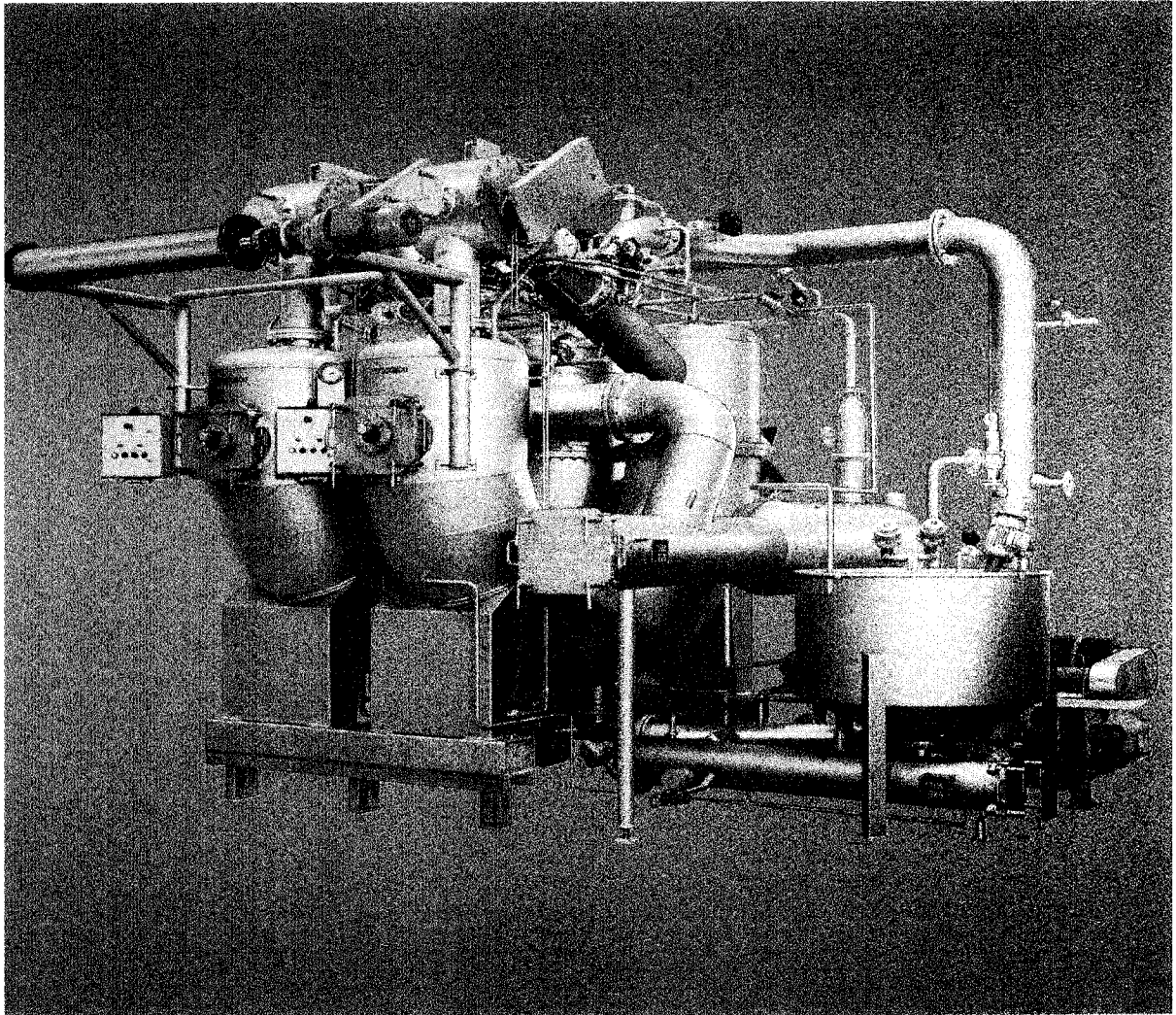


Figure 1.9 : Machine à jet *THEN-AIRFLOW*

1.3.2 Procédé d'épuisement suivi par le procédé *Cold-Pad-Batch*

Ce procédé est composé de deux parties:

- L'épuisement, pour colorer la partie polyester du tissu suivant la méthode discutée dans le paragraphe précédent (1.5.1).
- La deuxième partie est le procédé *Cold-Pad-Batch* utilisé pour fixer les colorants réactifs sur le coton par les étapes suivantes:
 - L'imprégnation en continue dans le Pad du tissu sec par le mélange de colorant réactif, de la soude (NaOH) et du sel.
 - Le stockage du tissu après le Pad dans des sacs de plastique durant 12-24 heures.
 - Le lavage du tissu pour enlever les colorants non-fixés.

Ces deux derniers procédés (épuisement et épuisement plus *Cold-Pad-Batch*) sont les plus utilisés par notre partenaire Consoltex. Puisque parmi nos objectifs et de comparer ces deux procédés avec le nôtre, ce procédé va être pris en considération dans cette étude.

1.4 Exposé de la problématique

Dans le domaine de la préparation et la finition des produits textiles, la teinture des tissus de coton/polyester demeure l'opération la plus coûteuse étant donnée l'énergie consommée ainsi que l'importance de la qualité de coloration demandée.

L'énergie nécessaire pour sécher un textile est économiquement très crucial, surtout que pour évaporer 1 kg de l'eau il faut investir une énergie d'au moins 2600 kJ, c'est à dire l'équivalence de 0.06 kg de fuel [CHABERT et col., 1987].

Or, la fixation thermique de colorants réactifs au moyen du rayonnement infrarouge a pu dernièrement produire de bons résultats en terme d'économie d'énergie et de réduire le temps tout en diminuant la charge polluante dans l'effluent de lavage [ZHAO, 1999].

Traditionnellement, la coloration d'un tissu de coton/polyester avec des colorants dispersés et réactifs est un procédé en deux étapes, l'une longue et l'autre dispendieuse. En premier temps, le composant polyester du tissu est coloré dans un bain avec des colorants dispersés qui sont ensuite lavés en présence d'un agent réducteur pour éliminer le colorant de la

surface des fibres. Après le lavage, le composant coton de ce tissu est coloré directement avec le colorant réactif. Finalement, le tissu est lavé encore une autre fois pour enlever les colorants non-fixés.

L'utilisation des procédés qui sont basés sur la séparation des deux étapes de coloration n'a pas été juste au hasard mais c'est une conséquence de la non-compatibilité des deux colorants qui sont conçus pour la coloration des deux types de fibre dans un seul bain. Ceci représente le problème majeur de la non-utilisation jusqu'à date de ce procédé.

À haute température de fixation des colorants dispersés sur le polyester, les colorants réactifs peuvent se décomposer. D'autre part, les conditions alcalines nécessaires pour la réaction des colorants réactifs sur les fibres du coton peuvent entraîner la décomposition des colorants dispersés. De plus les colorants réactifs peuvent se fixer aux groupes nucléophiles des colorants dispersés.

Ceci a été confirmé par Yang et col. [YANG et col., 2000]. En fait, ils ont démontré par une étude faite sur *Disperse Red 343* et *Reactive Green 12* dans un milieu aqueux, que le premier exige une haute température de coloration de l'ordre de 130°C et une faible condition alcaline avec un pH inférieur de 10, alors que le deuxième nécessite une haute condition alcaline avec un pH = 10-12 et une température inférieure de 100°C.

Évidemment, les conditions ne sont pas compatibles, d'où la nécessité d'avoir une compatibilité entre les colorants utilisés.

1.5 Objectifs de cette étude

Ce projet a été un défi car dans toute la littérature trouvée il n'y a aucun procédé thermique capable de colorer un tissu de coton/polyester avec un mélange de deux types de colorants dans une seule étape rapide et continue.

L'idée de ce projet a été tirée du procédé *Pad-Thermosol-Pad-Steam* en remplaçant les équipements de la Figure 1.8 par:

- Une unité d'imprégnation (Pad) dans laquelle il y a un mélange de colorants réactifs et dispersés dans une solution d'alcalinité suffisante pour déclencher la réaction du colorant réactif avec le coton.

- Un four infrarouge pour le séchage du tissu et la fixation des colorants réactifs.
- Une étuve à air chaud à haute température (210°C) pour terminer la fixation des colorants réactifs sur le coton et fixer les colorants dispersés sur le polyester. Cet appareil a été utilisé à cause de l'impossibilité de maintenir une température constante (200-210°C) dans le four infrarouge (risque de brûlage).
- Un lavage de tissu coloré pour enlever les colorants non fixés.

Au début de notre étude, les objectifs étaient de:

- Concevoir et de faire la mise en marche d'un procédé de fixation thermique permettant un séchage par four infrarouge suivi par un chauffage à l'air chaud.
- Développer de nouvelles recettes compatibles chimiquement et thermiquement.
- Minimiser la charge polluante de l'effluent de lavage

Comme les résultats ont été largement satisfaisants, nous avons poursuivit les objectifs supplémentaires suivants:

- L'optimisation des paramètres opérationnels (voltage du four infrarouge, température de l'étuve à air chaud, etc....) pour avoir une coloration uniforme sur toute la nappe de textile.
- Le calcul numérique (la colorimétrie) de tissu obtenu ainsi que la comparaison de ces calculs avec ceux trouvés par le procédé témoin.
- L'analyse des échantillons par des tests de lumière, de dégorgement et d'acétone pour voir l'efficacité de ce procédé et la qualité du produit.
- L'extrapolation de ce procédé à l'échelle industriel chez notre partenaire Consoltex.

2. MONTAGE EXPÉRIMENTAL

2.1 Le Pad

Le Pad est un bain d'imprégnation dans lequel les colorants réactifs, dispersés et les produits chimiques sont mélangés. La Figure 2.1 illustre le schéma du Pad.

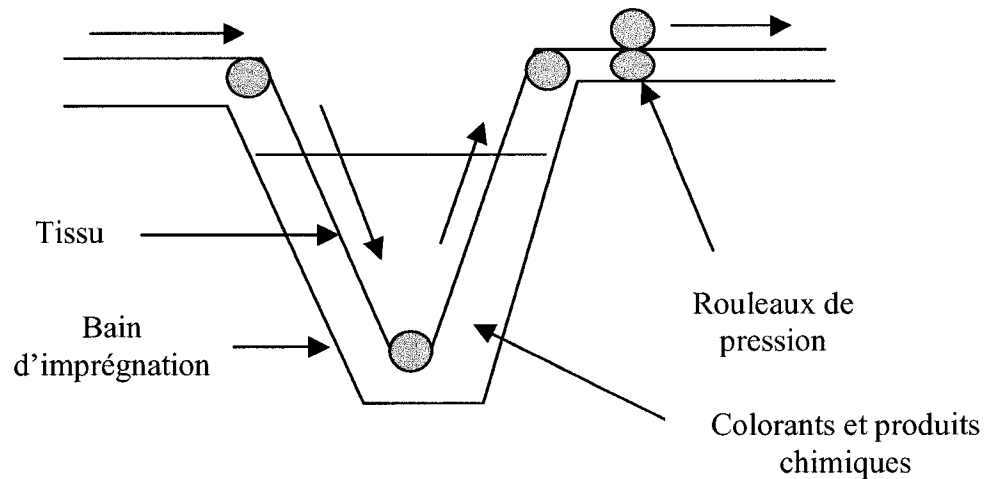


Figure 2.1 : Schéma de Pad

Les rouleaux de pression ont deux rôles dans ce procédé: ils enlèvent l'excès du colorant dans le tissu et il stabilise la vitesse de circulation du tissu tout en la gardant pareille à celle des rouleaux d'entraînement. La pression de ces rouleaux est contrôlable et joue un rôle primordial sur le calcul de la rétention d'eau par le tissu. Cette rétention est calculée comme suit:

$$La\ rétention = \frac{Masse\ d'\ eau}{Masse\ de\ tissu\ sec} \quad (1.1)$$

2.2 Le four infrarouge

Les émetteurs utilisés sont de type quartz étant donné que notre partenaire industriel, Consoltex, les utilise. De plus, les résultats trouvés par Broadbent [BROADBENT et col., 1994] montrent que l'efficacité énergétique pour le séchage utilisant les sources tubulaires de quartz est 73% (émission maximale autour de 3 μm) et 56% pour les sources tubulaires T-3 (émission

maximale autour de 1 μm). La faible efficacité des sources de courte longueurs d'ondes est une conséquence de la diminution d'absorption des radiations par le tissu mouillé. Les sources tubulaires sont installées dans quatre modules fonctionnant de façon indépendante. Ces émetteurs sont placés sur des supports d'aluminium pour que les réflexions des rayonnements soient maximum sur le tissu. Pour garder la même température sur les deux faces du tissu, deux modules ont été placés en haut et deux en bas. Ils sont placés à une distance de 10 cm de tissu.

Le four infrarouge est de 1.60 m de longueur, 1.10 m de largeur et 1.33 m de hauteur. La Figure 2.2 illustre le four infrarouge. Le système de ventilation permet une alimentation et une évacuation de l'air de façon homogène dans le séchoir ce qui permet au flux d'air d'être en contact uniforme partout dans la nappe [FORGET, 1990]. Le flux d'air est introduit dans le four à une température ambiante avec un taux de 4 kg/min [COTÉ, 1988] permettant ainsi d'enlever la vapeur de la surface du tissu. Ce four a une puissance maximale de 15 kW répartie uniformément et alimentée aux quatre éléments radiants, soit 3.75 kW pour chaque module [FORGET, 1990]. Les voltages de ces éléments sont contrôlés également et la valeur ainsi que la température du tissu peuvent être lues à la sortie du four infrarouge via un panneau de configuration. Tous les détails supplémentaires sur cette unité se trouvent dans la littérature : [COTÉ, 1988], [COTÉ et col., 1990], [FORGET, 1990], [THERIEN et col., 1991], [FORGET et col., 1993], [BROADBENT et col., 1994], [DHIB, 1994], [DHIB, et col., 1994], [SLITINE, 1995], [HAMOUDI, 1990], [ZHAO, 1999] etc....

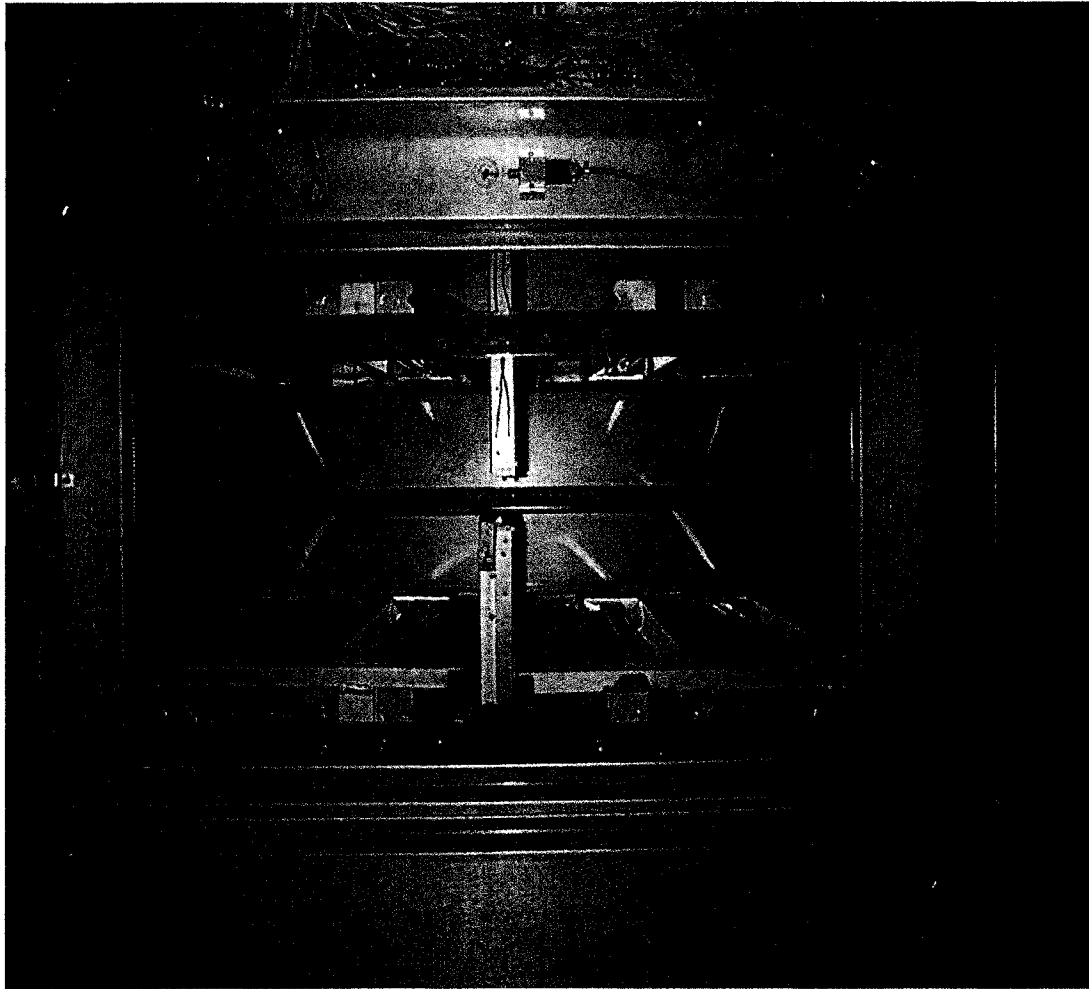


Figure 2.2 : Four infrarouge
Fabriqué par *Radiant Heat inc.*

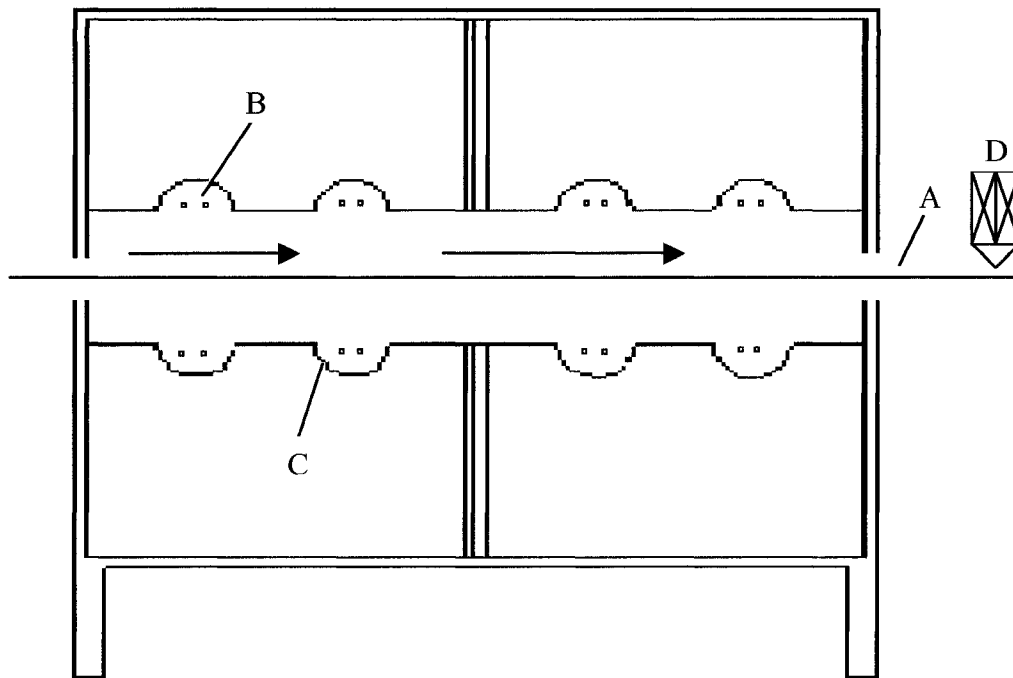


Figure 2.3 : Schéma du four infrarouge

- A = Tissu
- B = Élément radiant
- C = Réflecteurs
- D = Pyromètre optique

Le pyromètre optique est attaché à la sortie du four infrarouge. Il donne la température superficielle du tissu. On peut lire cette température, ainsi que la valeur moyenne de la température de tous les 13 thermocouples situés à l'intérieur du four infrarouge, via le panneau de configuration.

2.3 L'étuve à air chaud

Le rôle de cette unité est de fixer les colorants dispersés sur la partie polyester du tissu coton/polyester. Ce mécanisme de fixation se fait comme dans le procédé *Thermosol* dans lequel les colorants s'adsorbent sous forme de vapeur dans le tissu après sublimation. La température sera fixée à 210°C correspondant à la température de sublimation maximale des colorants dispersés.

2.3.1 Conception de la partie mécanique de l'étuve

L'étuve est de forme rectangulaire avec des dimensions approximatives de 1.3 m de longueur, 1.5 m de hauteur et 0.7 m de largeur. La boîte est faite d'aluminium et comprend une double paroi entre laquelle une couche d'isolant d'environ 3 à 7 cm a été installée.

L'admission du tissu se fait par le haut de l'étuve à la sortie du four infrarouge. Le tissu passe ensuite à travers un système comprenant 5 rouleaux dont 2 sont à position variable. Il est ainsi possible de faire varier le temps de résidence à l'intérieur de l'étuve entre 1 et 4 minutes suivant la position des rouleaux et la vitesse de défilement du tissu. Le tissu sort ensuite de l'étuve par le haut où il peut être embobiné ou bien recirculé vers le début du procédé en circuit fermé et ce pour économiser la quantité de tissu utilisée.

2.3.2 Méthode de chauffage de l'étuve à air chaud

L'étuve est chauffée par l'entremise d'un élément chauffant couplé à un ventilateur. La puissance électrique de cet appareil et le débit d'air chaud sont conçus de façon à permettre à la nappe d'atteindre la température de l'étuve à la moitié de son parcours.

Le temps nécessaire pour arriver à une température de 220°C sans tissu est de 20 minutes avec un débit d'air total de 7.9 m³/min et une vitesse d'air de 5.2 m/s.

Pour assurer une bonne uniformité de la température, l'air est injecté dans une double paroi où il est ensuite dispersé par l'entremise d'un trou situé dans le fond et sur deux des côtés de l'étuve. Une conduite est aussi placée en haut de l'étuve pour permettre l'extraction de l'air chaud vers l'extérieur sans oublier qu'une proportion significative de cet air est recirculé vers l'étuve. La température à l'intérieur de l'étuve est contrôlée à l'aide d'un thermocouple placé au centre de l'étuve et relié à un système de contrôle ajustant le voltage de l'élément chauffant pour

obtenir la température désirée. L'étuve contient aussi trois thermocouples situés à droite de l'appareil, deux en haut et un en bas. Ils assurent la stabilité de la température partout dans l'unité chauffante.

La Figure 2.4 illustre le schéma de l'étuve à air chaud.

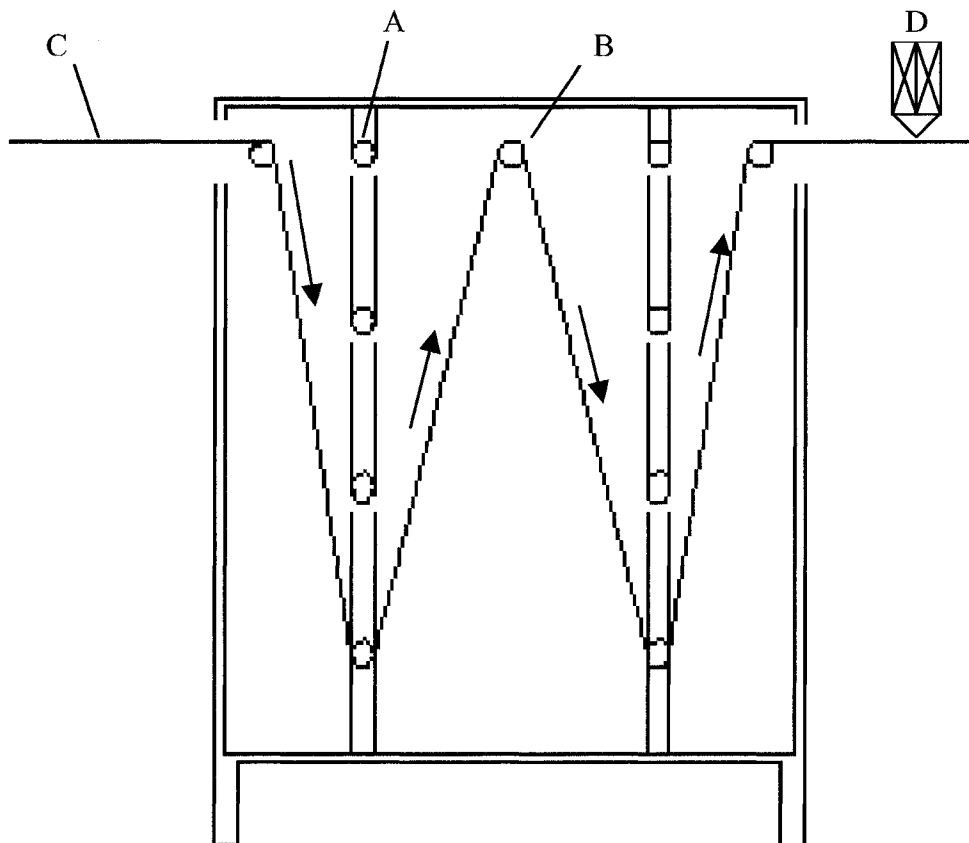


Figure 2.4 : Schéma de l'étuve à air chaud

A = Rouleau interchangeable

B = Rouleau fixe

C = Tissu

D = Pyromètre optique

La Figure 2.5 illustre le schéma compact des trois unités dans une boucle fermée.

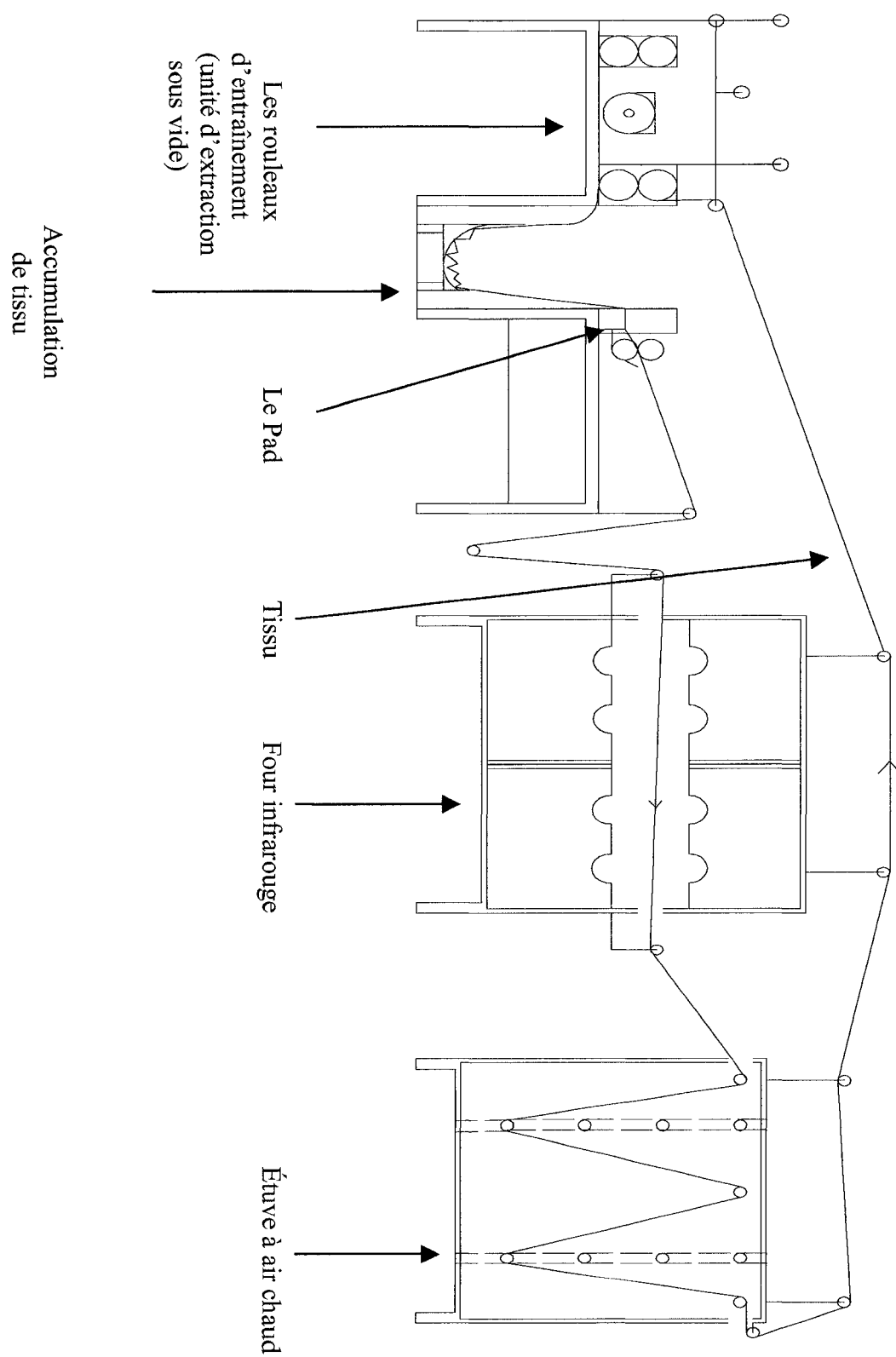


Figure 2.5 : Schéma général du Procédé infrarouge + air chaud

3. MÉTHODOLOGIE

3.1 Méthode technique

3.1.1 Les recettes utilisées

On a utilisé durant tout le long de ce projet quatre recettes. La description détaillée de ces quatre recettes comme on les a reçu de Tri-tex pour le procédé d'épuisement est donnée comme suit:

➤ *Light Green*

Cette recette se fixe sous condition neutre dans laquelle on peut mélanger les deux colorants réactifs et dispersés sans avoir des problèmes de compatibilité. La composition et le mode opératoire de cette recette sont données dans le Tableau 3.1 (en % (1 g de colorant par 100 g de tissu)).

➤ *Dark Green*

Cette recette est tirée de la précédente et ce en multipliant la concentration de cette dernière par un facteur cinq. L'objectif de cet essai est de voir si les résultats vont changer pour une coloration foncée.

Les colorants dispersés	<i>Trisetile Yellow Brown L</i>	0.016%
	<i>Trisetile Blue FBLN 300%</i>	0.014%
Les colorants réactifs	<i>Neutrifix Yellow GL</i>	0.047%
	<i>Neutrifix Red 3B</i>	0.0024%
	<i>Neutrifix Blue G</i>	0.077%
Les produits chimiques	<i>Glauber's Salt</i>	40 g/l
	<i>Tex-buffer P-7</i>	1 g/l
	<i>Dispersing Agent</i>	1 g/l
Mode opératoire	Tissu	50/50% (coton/polyester)
	Tissu : Solution	1 : 10
	Procédure	130°C/30 min

Tableau 3.1 : Composition et mode opératoire de la recette *Light Green*

➤ ***Peat green et violet***

Elles se fixent sous condition alcaline dans deux bains différents.

D'après Tri-tex, pour ces deux recettes, les deux colorants réactifs et dispersés ne peuvent pas être mélangés dans le même bain. Malgré ceci les deux colorants ont été mélangés et d'excellent résultats ont été obtenues (voir chapitre 4).

La composition (en % (1 g de colorant par 100 g de tissu)) et le mode opératoire de ces deux recettes pour une teinture effectuée par le procédé d'épuisement sont donnés dans le Tableau 3.2 et 3.3 successivement.

Bain N° 1		
Les colorants dispersés	<i>Trisetile Yellow Brown L</i>	0.600%
	<i>Trisetile Rubine RL 200%</i>	0.055%
	<i>Trisetile Blue FBLN 300%</i>	0.140%
Les produits chimiques	<i>Citric acid</i>	pH = 5.0
	<i>Dispersing Agent</i>	0.50%
Mode opératoire	Tissu	50 % polyester, 50% coton
	Tissu : Solution	1:10
	Procédure	130°C/30 min
Bain N° 2		
Les colorants réactifs	<i>Triactive Gold. Yellow DF-RL 150%</i>	1.900%
	<i>Triactive Red DF-4BL 150%</i>	0.220%
	<i>Triactive Navy Blue DF-RGB 150%</i>	0.390%
Les produits chimiques	<i>Common Salt</i>	60 g/l
	<i>Soda Ash</i>	20 g/l
Mode opératoire	Tissu	50 % polyester, 50% coton
	Tissu : Solution	1:10
	Procédure	60°C/60 min

Tableau 3.2 : Composition et mode opératoire de la recette *Peat green*

Bain N° 1		
Les colorants dispersés	<i>Trisetile Yellow Brown L</i>	0.10%
	<i>Trisetile Rubine RL 200%</i>	0.18%
	<i>Trisetile Blue FBLN 300%</i>	0.20%
Les produits chimiques	<i>Citric acid</i>	pH = 5.0
	<i>Dispersing Agent</i>	0.50%
Mode opératoire	Tissu	50 % polyester, 50% coton
	Tissu : solution	1:10
	Procédure	130°C/30 min
Bain N° 2		
Les colorants réactifs	<i>Triactive Gold. Yellow DF-RL 150%</i>	0.15%
	<i>Triactive Red DF-4BL 150%</i>	0.43%
	<i>Triactive Navy Blue DF-RGB 150%</i>	0.45%
Les produits chimiques	<i>Common Salt</i>	40 g/l
	<i>Soda Ash</i>	20 g/l
Mode opératoire	Tissu	50 % polyester, 50% coton
	Tissu : solution	1:10
	Procédure	60°C/60 min

Tableau 3.3 : Composition et mode opératoire de la recette *violet*

3.1.2 Procédure expérimentale

Pour les essais avec de petits morceaux de tissu, la procédure expérimentale après l'insertion du ``leader`` était:

1. Mise en place de tissu maître (*leader*)

Le leader était inséré dans le procédé comme indiqué à la Figure 2.5. Il faut prendre en considération qu'une longueur de tissu de 5m doit être placée dans l'accumulateur pour avoir un temps raisonnable pour coudre l'échantillon à colorer sur le leader. Il est à signaler aussi que l'unité d'extraction sous vide est utilisée pour la traction de tissu et pour garder la même vitesse que celle des rouleaux de pression.

Le tissu utilisé comme échantillon est de style *SWAGGER* constitué de coton/polyester pré-blanchi et lavé avec un pourcentage de 25/75% coton/polyester, respectivement. Ce tissu est fourni par notre partenaire industriel Consoltex. Il a une rétention d'eau de 72%. Cette valeur est trouvée en fixant la pression des rouleaux de Pad à une valeur de 10 kPa / cm.

2. Ajustement de la vitesse de défilement du tissu

La vitesse de tissu a été contrôlée durant toutes les expériences en premier lieu par le potentiomètre de l'unité d'extraction sous vide (rouleaux d'entraînement) ensuite régularisée par la vitesse produite par la pression des rouleaux de Pad. Ces deux vitesses étaient réglées de façon à ce qu'il n'y a pas de forte attraction du tissu par les rouleaux.

3. L'ouverture des deux unités

Une fois la vitesse désirée était atteinte dans un régime stable, les deux opérations suivantes étaient faites simultanément:

- Plongement des rouleaux dans le bassin d'imprégnation.
- L'ouverture des deux unités (infrarouge et étuve à air chaud).

Pour permettre au système d'atteindre les conditions expérimentales voulues, une certaine période de temps a été allouée. Cette période était en fonction du temps nécessaire pour que le

four infrarouge arrive à une température de 100°C. Pour l'étuve à air chaud, le temps pour arriver à 210°C est 40 min.

Pendant cette période de préchauffage, le leader qui circule en circuit fermé est mouillé par l'eau qui est placée dans la cuve d'imprégnation afin d'éviter de brûler le leader dans le four infrarouge.

4. Mélange de colorants

Lorsque la température désirée des deux unités était atteinte la procédure était comme suit :

- Les colorants et les produits chimiques étaient mélangés dans un grand bêcher. L'eau, l'agent dispersant et l'agent mouillant étaient ajoutés.
- La solution des colorants était versés dans une cuve qui est placée avant le Pad.

5. Mise en place des échantillons

La méthode de mise en place des échantillons consiste à couper le leader entre l'unité de l'extraction sous vide et le bain d'imprégnation. Il est important que le tissu soit coupé au centre de l'accumulateur pour obtenir assez d'espace pour permettre la couture de l'échantillon. De plus, si le tissu est coupé trop près des rouleaux de l'unité d'extraction sous vide, ce dernier aura une tendance à vouloir s'enrouler autour des rouleaux mobiles.

Après cette tâche, le tissu est levé du bassin d'imprégnation d'eau et entraîné dans la cuve de la solution de colorants. Lorsque l'échantillon était imprégné, le tissu était placé dans le bain d'eau initiale pour ne pas teindre le leader. Une fois que l'échantillon a fait tout le parcours, ce dernier était soit coupé et remplacé par un autre, ou enlevé et le leader était recousu sur lui-même pour refaire la boucle fermée.

Pour tous les essais de teinture en batch (morceau de tissu), on n'a lavé que les petits échantillons colorés de tissu. Les échantillons lavés étaient séchés à l'air à la température ambiante.

6. Lavage de tissu coloré

La procédure de lavage de tissu était effectuée dans quatre bains avec agitation manuelle comme suit:

- 60 s à une température de 20°C
- 30 s à une température de 60°C
- 90 s à une température de 90°C
- 60 s à une température de 40°C

3.1.3 Le tissu témoin

Étant donné que notre partenaire industriel Consoltex n'utilise pas les mêmes recettes utilisées par nous la tâche du témoin a été faite dans notre laboratoire et ce par la petite machine d'épuisement figurée dans la Figure 3.1.

Cette machine programmable est constituée de 24 cylindres en acier, chaque cylindre a une capacité volumique de 125ml. Les cylindres se trouvent à l'intérieur de la machine (Figure 3.1) dans un bain d'huile (*Carbowax*). Ce procédé se fait dans deux bains comme suit:

- Remplir les cylindres par les colorants dispersés, l'acide, l'agent dispersant et le tissu par un ratio de 1:10 (10 g de tissu avec 100 ml de solution). Cette coloration de la partie polyester se fait pendant 30 min et sous une température de 130°C.
- Vider les cylindres de la solution des colorants dispersés non-fixés
- Remplir les tubes par les colorants réactifs, le sel et l'alcali pour colorer la partie coton du tissu pour un temps de 60 min et sous une température de 60°C.
- Vider les cylindres de la solution des colorants réactifs non-fixés.
- Remplir les tubes par de l'eau pour laver le tissu et ce pour un temps de 10 min et sous une température de 100°C.



Figure 3.1 : Photo de la machine *Polycolor*

3.1.4 Calcul théorique

La composition des recettes qu'on a reçu de Tri-tex était exprimée en pourcentage pour un tissu de coton/polyester 50/50%. Pour que ces recettes soient applicables à nos deux procédés, (épuisement pour le tissu (témoin) et infrarouge plus air chaud pour le tissu (échantillon)) les changements suivants ont été apportés:

1. Procédé d'épuisement

Pour ce procédé un seul changement a été apporté: la composition de la recette qui était donnée pour un tissu coton polyester 50/50% a été apportée pour la composition de notre tissu coton/polyester 25/75% respectivement. Ceci a été fait en multipliant le pourcentage (1 g de colorant par 100 g de tissu) de tous les colorants réactifs et les produits chimiques nécessaire pour la fixation de ces colorants par un facteur 0.5. Alors que pour les colorants dispersés et leur produits chimiques, on les a multiplié par un facteur 1.5.

2. Procédé du four infrarouge plus étuve à l'air chaud

Pour ce procédé deux changements ont été apportés: le premier est le même que le procédé d'épuisement alors que le deuxième était la conversion des pourcentages en quantités mesurables (concentrations). Cette conversion a été faite en divisant tous les pourcentages de chaque recette par la valeur de la rétention (72%) et en multipliant ces valeurs par 1000 (conversion d'unité).

Par exemple, pour 1% d'un colorant donné (1 g de colorant par 100 g de fibre), la concentration de ce colorant est:

$$\frac{1g \text{ de colorant}}{100g \text{ de fibre}} * \frac{100g \text{ de fibre}}{72g \text{ d'eau}} * \frac{1000mL}{1L} * \frac{1g \text{ d'eau}}{1mL} \\ = \frac{13.89g \text{ de colorant}}{1L}$$

3.2 Méthode analytique

3.2.1 La colorimétrie

L'objectif de la colorimétrie est la description numérique d'une couleur pour qu'elle corresponde le plus proche possible à la sensation visuelle.

Toutes les expériences de coloration faites ont été analysées par un spectrophotomètre informatisé via le logiciel CHROMUS.

Ce logiciel a été développé par Monsieur Benoît côté, ingénieur au département de génie chimique de l'Université de Sherbrooke. Il permet de donner toutes les informations numériques sur une couleur donnée. Pour un choix donné de l'illuminant et de l'observateur, ce logiciel calcule les composantes tri-chromatiques X, Y, et Z à partir du spectre de réflectance avec un intervalle de longueur d'onde [380-700 nm] selon les normes de la CIE.

Toutes les données se font pour l'illuminant D_{65} (*Daylight* 6500 K) et l'observateur standard supplémentaire de la CIE (1964, angle de vision 10°).

Ensuite, le logiciel calcule les paramètres L, a et b du système CIELAB. Ainsi nos calculs ont été basés sur:

1. La différence de couleur

Parmi les systèmes les plus connus pour la spécification d'une couleur et surtout pour la différence entre deux couleurs est le système CIELAB recommandé par la CIE (comité international d'éclairage) en 1976 [MCDONALD, 1987].

La Figure 3.2 illustre le schéma de l'espace des couleurs du système CIELAB.

CIELAB

colour space is 3-dimensional

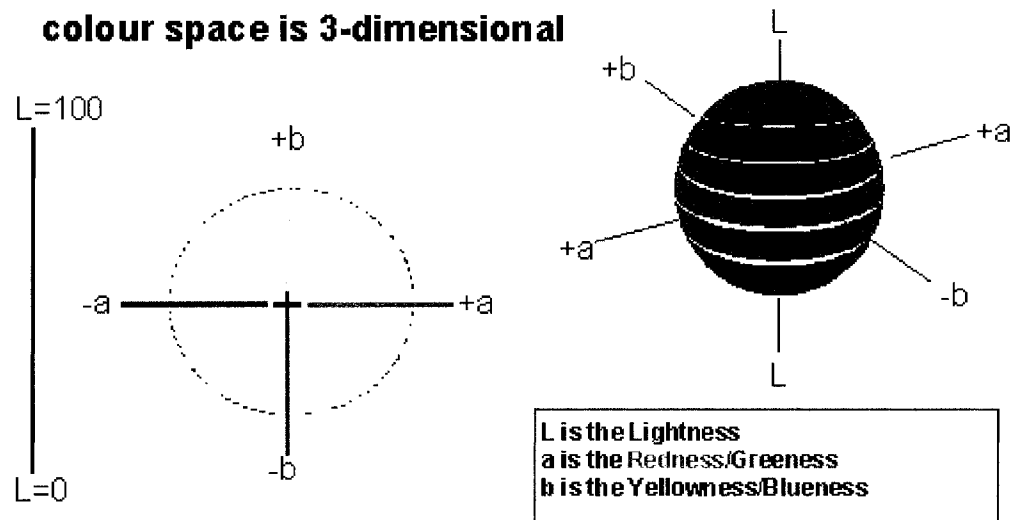


Figure 3.2 : Schéma de l'espace CIELAB

L = Paramètre de clarté relatif allant de 0 pour le noir à 100 pour le blanc absolu.

a = Paramètre de la couleur opposante (rouge-vert)

b = Paramètre de la couleur opposante (bleu-jaune)

Les valeurs de L , a et b pour deux couleurs différentes permettent le calcul de l'écart chromatique entre elles. Cette différence est la distance entre les points définis par leurs coordonnées L , a et b dans l'espace de couleurs calculé selon la loi de Pythagore. La Figure 3.3 illustre la façon explicative pour le calcul de la différence de couleur.

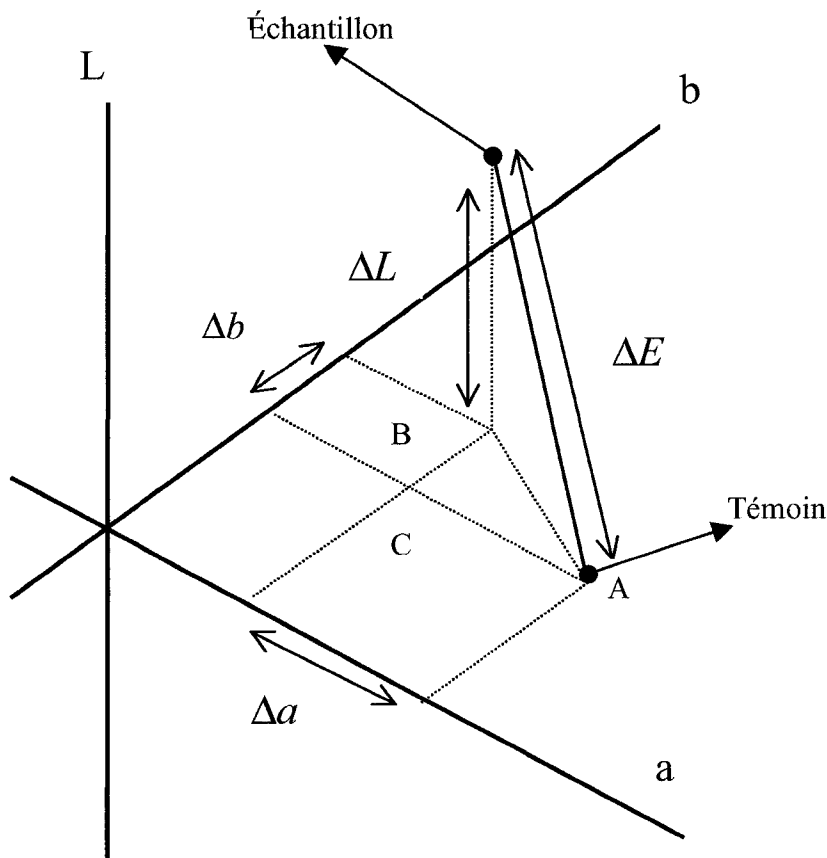


Figure 3.3 : Schéma explicatif pour le calcul de ΔE

L'écart de couleur ΔE exprime la distance séparant deux points de couleur, généralement un échantillon et un modèle de référence. Plus l'écart de couleur est grand, plus il y a de différence entre l'échantillon et le modèle de couleur.

Si $0 \leq \Delta E < 1$ il n'y a pas de différence visuelle de la couleur des deux échantillons

Si $\Delta E \geq 1$ il y a une différence visuelle de la couleur des deux échantillons

Le calcul de l'écart de couleur est directement issu de Pythagore et il se fait par les deux équations trigonométriques suivantes:

$$\begin{aligned}\Delta E^2 &= \Delta L^2 + AB^2 \\ AB^2 &= \Delta b^2 + \Delta a^2\end{aligned}\tag{3.1}$$

Pour les couleurs qui sont semblables et se trouvent assez proche dans l'espace de couleurs, il est possible de définir une différence de saturation ΔC (*chroma*) et une différence de teinte ΔH (*hue*).

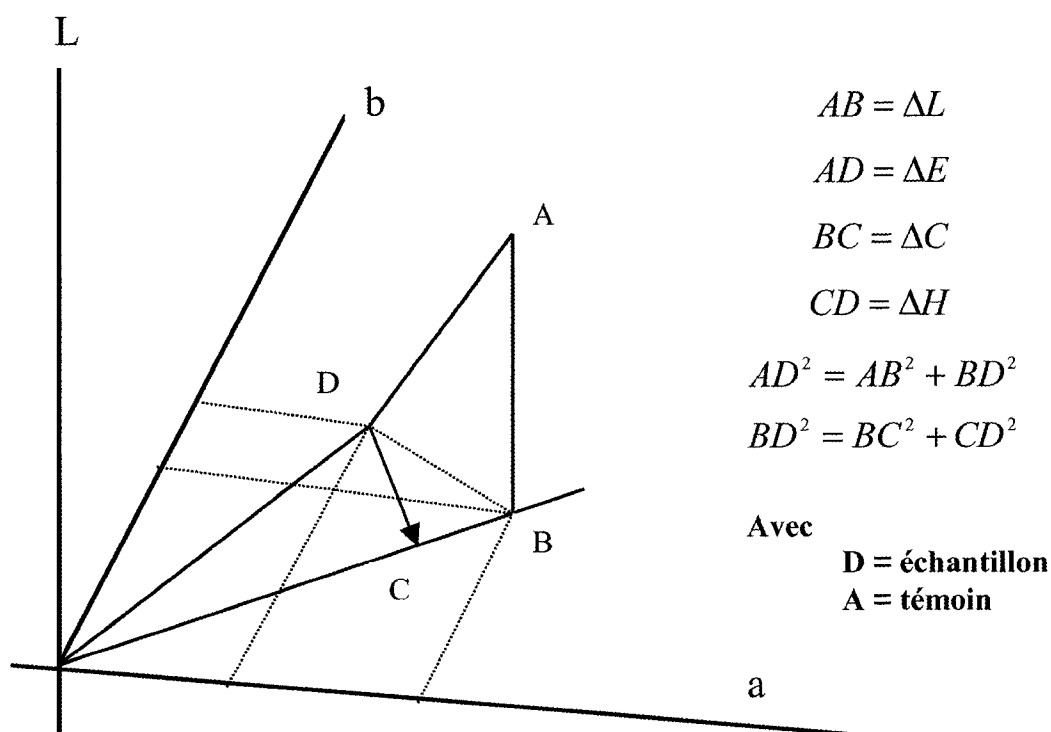


Figure 3.4 : Schéma explicatif pour le calcul de ΔC et ΔH

La différence de couleur peut être aussi exprimée par la relation suivante:

$$\Delta E^2 = \Delta L^2 + \Delta C^2 + \Delta H^2 \quad (3.2)$$

La différence de C est définie par la relation suivante:

$$C = (a^2 + b^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3.3)$$

$$\Delta C = C_{ech} - C_{std} \quad (3.3)$$

avec ech = échantillon

std = standard

La différence de teinte est calculée comme suit:

$$\Delta H = (\Delta E^2 - \Delta L^2 - \Delta C^2)^{\frac{1}{2}} \quad (3.4)$$

La CIE a définit l'angle de teinte comme suit:

$$h = \arctan\left(\frac{b}{a}\right) \quad (3.5)$$

2. La profondeur de couleur

La profondeur de la couleur d'un échantillon donné peut être évaluée en utilisant le logiciel déjà mentionné et ce via la relation K/S de Kubelka-Munk [MCDONALD, 1987].

$$\frac{K}{S}(\lambda) = \frac{[1 - R_{\infty}(\lambda)]^2}{2R_{\infty}(\lambda)} \quad (3.6)$$

Avec

K = Coefficient d'absorption de la lumière par le tissu coloré.

S = Coefficient de dispersion de la lumière par le tissu. Ce paramètre est une caractéristique du tissu.

$R_{\infty}(\lambda)$ = La réflexion d'une longueur d'onde (λ) sur un tissu d'épaisseur infini mesuré par spectrophotométrie.

3. La force de couleur

La force de couleur est calculée en utilisant la relation de Baumann et col. [BAUMANN et col., 1987] qui donne la valeur intégrée de K/S pondérés par les réponses visuelles de l'observateur supplémentaire de la CIE 1964.

$$fk = \sum_{\lambda=400}^{\lambda=700} \left[\frac{K}{S}(\lambda) \right] * [x_{10}(\lambda) + y_{10}(\lambda) + z_{10}(\lambda)] \quad (3.7)$$

x_{10} , y_{10} et z_{10} sont les composantes tri-chromatiques standard de l'observateur supplémentaire de la CIE 1964.

4. Le rendement de fixation

Le rendement (Rdt) de fixation des colorants sur le tissu est calculé entre un échantillon coloré lavé et un autre coloré non-lavé par la relation suivante:

$$Rdt = \frac{fk_{Lavé}}{fk_{Nonlavé}} \quad (3.8)$$

Par exemple, si le lavage d'un échantillon du tissu élimine beaucoup de colorant non-fixé, $fk_{Lavé} \lll fk_{Nonlavé}$, alors le rendement de fixation sera faible.

Dans notre calcul, vu la complexité de nos recettes qui sont constituées de deux ou trois colorants dispersés et de trois colorants réactifs l'équation (3.9) a été utilisé pour calculer le rendement de fixation Rdt . On a négligé le rapport des composants tri-chromatiques.

$$Rdt = \frac{\sum_{\lambda=400}^{\lambda=700} \frac{K}{S}(\lambda)_{Lavé}}{\sum_{\lambda=400}^{\lambda=700} \frac{K}{S}(\lambda)_{Nonlavé}} \quad (3.9)$$

3.3 L'évaluation de la qualité des tissus

3.3.1 Test de l'acétone

Ce test entraîne un lavage d'échantillon expérimental et standard après la coloration dans l'acétone durant 24 heures suivi du lavage et du séchage. Pour une quantité de tissu de 3 g on a utilisé 50 ml d'acétone.

Ce test pourrait être évalué par le logiciel CHROMUS par deux méthodes différentes: l'évaluation des échantillons et la mesure de l'absorbance de la solution de l'acétone.

L'évaluation des échantillons se fait par la mesure de la différence de teinte ΔH , de couleur ΔE et de chroma (saturation) ΔC ainsi que les valeurs de L , a et b . Ces valeurs seront calculées entre un échantillon avant le test (standard) et un autre après ce test (échantillon).

La mesure de l'absorbance de la solution de lavage de tissu final par rapport à l'eau distillée se fait par intégration des valeurs de A dans l'intervalle de la longueur d'onde [380-700]. Une solution colorée après le lavage sera un indicateur de colorant dispersé non-fixé dans le tissu final.

$$A = \log\left(\frac{100}{T\%}\right) = \varepsilon \times L \times C_d \quad (3.10)$$

A = L'absorbance de la solution colorée à la longueur d'onde d'absorbance maximale
 ϵ = Le coefficient d'extinction du colorant en solution à cette longueur d'onde (g/l)⁻¹(cm)
 L = La longueur de la cellule du spectrophotomètre (1.00 cm)
 C_d = La concentration de la solution colorée (g/l)
 $T\%$ = Pourcentage de transmission de la solution colorée

3.3.2 Test de dégorgement

Ce test implique le lavage de l'échantillon et du standard après la coloration dans la machine *Polycolor* illustrée à la figure 3.1 suivi du lavage et du séchage. Ce lavage se fait avec de l'eau et d'un détergent commercial (*Liqui-Nox*) de concentration 5-10 mL/L(eau distillée) sous une température de 60°C pendant 60 min. La quantité de tissu utilisée pour chaque 100 ml d'eau est de 3 g. L'évaluation de ce test est de la même façon que le test d'acétone.

Le test d'acétone permet d'analyser les colorants dispersés non-fixés par le polyester alors que le test de dégorgement permet d'analyser les colorants réactifs non-fixés par le coton. Ceci est une conséquence de l'hydrophobicité des colorants dispersés et la non-solubilité des colorants réactifs dans l'acétone.

3.3.3 Test de la lumière

Dans ce test, on vérifie que les conditions opérationnelles de la fixation thermique des deux types de colorant n'opposent pas à la solidité de la couleur à la lumière. La dégradation sous l'effet de la lumière n'est pas immédiate. Le test entraîne l'exposition des échantillons de teinture expérimentale et standard à la lumière du jour à l'arrière d'un panneau de verre durant quatre semaines.

Tout au long de cette période, le blanchissement de la couleur est évalué par intégration pondérée de K/S après chaque semaine d'exposition.

3.3.4 Test du toucher

Vu qu'on ne dispose pas d'appareil sophistiqué pour la mesure du toucher, on va faire ce test par la main. Ce test va nous permettre de savoir si le toucher est dur ou mou.

On va faire l'évaluation comme les tests précédents entre les échantillons et les standards.

3.4 Microscopie optique

3.4.1 Introduction

Le microscope optique est le plus courant des microscopes. Il permet d'obtenir une image agrandie d'un petit échantillon. Son principe est fondé sur les lois de l'optique géométrique. Il est constitué d'un assemblage de lentille dans lequel la lumière suit un trajet défini.

Après l'éclairage de la préparation par une lampe les échantillons à observer vont interagir avec la lumière de plusieurs façons. On obtient alors une image agrandie de l'échantillon dans la lunette (oculaire) du microscope.

Le but de cet examen est de voir au niveau microscopique la distribution des colorants réactifs et dispersés sur le tissu coton/polyester. De plus, ce test nous aide à avoir de bonnes informations sur l'uniformité de la couleur et la comparaison des deux procédés en ce qui concerne l'adsorption des colorants par les deux fibres qui constituent notre tissu.

3.4.2 Procédure expérimentale

La méthode d'Okada et col. a été utilisée comme référence pour la procédure expérimentale [OKADA et col., 2002].

Après avoir coupé des petits morceaux de 1 cm de long et 0.5 cm de large de tissu coloré, lavé et séché, ceux-ci ont été trempés pendant 12 heures dans une solution de 0.5% d'hypochlorite de sodium pour enlever les matières organiques. Puis les échantillons ont été déshydratés progressivement par l'éthanol. Ensuite, les échantillons ont été placés dans un mélange de méthacrylate de méthyle + méthacrylate de n-butyl + de peroxyde benzoyle, cette opération a été répétée trois fois pendant 48 heures [YOSHIDA, et col., 1993].

Pour infiltration, ces échantillons ont été posés dans un appareil à vide sous une pression de 0.133 Pa (10^{-3} Torr) pendant 5 min.

La polymérisation a été faite à 60°C pour 24-48 heures par monsieur Serge Capistran, stagiaire de monsieur Broadbent. En fin, les échantillons ont été coupés transversalement et analysés par microscopie optique par monsieur Gilles Grondin, agent de recherche en microscopie électronique du département de biologie de l'Université de Sherbrooke.

3.5 Procédure expérimentale des essais en continue au laboratoire

Les essais en continue ont été réalisés de la même façon que les essais en batch en utilisant environ 100 m de tissu enroulé sur un rouleau de 25 cm de large. Ce dernier est déposé avant l'étape de Pad puis à travers des rouleaux le tissu subi l'étape d'imprégnation, de séchage dans le four infrarouge et la cuisson dans l'étuve à air chaud. Pour contrôler le niveau du bain, l'alimentation du bain de pad par le mélange des colorants réactifs, colorants dispersés et l'alcali a été faite au début par une petite pompe. Mais après les premières essais nous avons été obligé d'alimenter le bain manuellement car la petite pompe n'a pas donné de bons résultats.

Le tissu utilisé est de style *SWAGGER* coton/polyester 25/75% pré-blanchi, lavé et séché. La préparation de la solution du colorant est la même que celle utilisée pour les essais en batch. Les recettes utilisées sont *light Green2*, *Dark Green2*, *Peat Green2* et *Violet2*.

Le tissu qui sort de l'étuve à air chaud est enroulé dans un autre rouleau pour l'étape de lavage. Cette étape a été faite sur des échantillons prélevés du rouleau de tissu coloré.

Après l'étape de coloration, des échantillons de 20 cm de large et 60 cm de long ont été coupés. Chacun de ces échantillons a été coupé en trois morceaux. Deux de ces morceaux servent pour le calcul du rendement de fixation et le troisième pour les tests de qualité. Le lavage de ces échantillons a été fait de la même façon que les essais en batch. Après l'étape de lavage nos échantillons ont été analysés comme indiqué précédemment par le logiciel CHROMUS.

3.6 Mode opératoire utilisé à l'échelle industrielle

3.6.1 Description de l'équipement de l'usine

L'équipement de notre partenaire industriel Consoltex, Inc. est constitué de trois unités opérationnelles comme celles de notre laboratoire (Figure 2.5) mais à grande échelle. Ces trois unités sont :

- Un foulard de 2 m de large avec une capacité volumique autour de 50 L. La pression des rouleaux (centre, droit et gauche) de ce foulard (Pad) est contrôlée par un panneau situé près de l'équipement.
- Un four infrarouge suspendu constitué de 24 émetteurs tubulaires disposés horizontalement en six sections vertical de type quartz. Leur fonctionnement est similaire à celui de notre laboratoire. Ces émetteurs sont situés deux à deux dans chacune des six petites chambres de ce four.
- Un four de séchage à gaz de forme conventionnelle de 60 m de longueur et autour de 2 m de large dans laquelle le tissu passe horizontalement.

3.6.2 Procédure expérimentale

Le même type de tissu a été utilisé avec une longueur de 400 m et une largeur de 1.75 m.

Les recettes utilisées à l'usine sont *Peat green2*, *Dark green2*, et *Violet2*. Les compositions de ces recettes sont les mêmes que celles utilisées pour les essais en continue au laboratoire.

La procédure est la même que celle suivie au laboratoire à une différence que les paramètres ont exigé beaucoup de contrôle pour avoir le régime permanent désiré. Nous avons utilisé pour chaque recette des échantillons après le Pad (avant le four infrarouge) pour le calcul de la rétention.

Après l'étape de coloration, le tissu est enroulé dans un autre rouleau puis dirigé vers un autre équipement de lavage. Le lavage a été fait sur tout le tissu coloré en continue à travers huit boîtes sous une température de 40 à 90°C. Pour le calcul du rendement de fixation nous avons utilisé des échantillons avant et après le lavage.

4. RÉSULTATS ET DISCUSSION

4.1 Influence des paramètres opératoires

4.1.1 Introduction

L'étude statistique faite par Broadbent et col. [BROADBENT et col., 1995] sur le procédé de fixation du colorant réactif sur le tissu du coton en utilisant le rayonnement infrarouge a montré que le changement des variables de contrôle, tels que la vitesse du tissu, la concentration de l'alcali, la puissance des émetteurs infrarouge, influence:

- Le rendement de fixation du colorant réactif sur le coton
- La température et l'humidité du tissu à la sortie du four infrarouge.

Cette étude a été confirmée par Zhao [ZHAO, 1999]. Ce qui nous a poussé à optimiser ces paramètres en les variant de façon aléatoire malgré qu'on a affaire à une fixation simultanée de deux colorants réactifs et dispersés sur un tissu coton/polyester.

L'étude de l'influence des paramètres déjà mentionnés a été faite en variant seulement le paramètre à optimiser en fixant les deux autres paramètres à des valeurs bien déterminées.

Vu que les résultats trouvés sont les mêmes pour les quatre recettes nous allons présenter et discuter les résultats trouvés pour une recette à la fois et ce pour le procédé infrarouge plus air chaud.

Dans tout le reste de ce document on va utiliser comme symbole de notre procédé infrarouge plus air chaud l'abréviation IR+AC.

4.1.2 Influence du voltage des émetteurs du four infrarouge

L'influence du voltage du four infrarouge sur la fixation des colorants a été étudiée et ce en utilisant les trois voltages, de chaque émetteur du four infrarouge, suivants: 300, 350 et 400 V.

La vitesse de défilement du tissu a été maintenue à 3 m/min avec un temps de résidence de 45 s dans l'étuve à air chaud et une température consignée de 210°C.

La figure 4.1 montre que lorsque le voltage varie de 300 à 350 V, la profondeur de la couleur augmente. Ceci s'explique par l'augmentation de K/S pour chaque longueur d'onde, tandis que entre 350 et 400 V, la courbe représentative ne montre pas une grande différence entre

ces deux voltages par contre le toucher de tissu à 400 V devient un peu plus dur. Ces résultats indiquent que le meilleur voltage des émetteurs du four infrarouge est 350 V. Mais avec ce voltage (350 V), le temps nécessaire pour avoir une température de tissu de 100°C à la sortie du four infrarouge est beaucoup plus long qu'à 400 V. De plus, le problème de la dureté de tissu avec ce voltage (400 V) est facilement réglable après un bon lavage. Dans le reste de ce document on a décidé d'utiliser le voltage de 400 V.

Le Tableau 4.1 suivant montre la composition de la recette *Peat Green* utilisée pour le procédé IR+AC.

Les colorants et les produits chimiques	Concentration en (g / L)
<i>Trisetile Yellow Brown L</i>	12.500
<i>Trisetile Rubine RL 200%</i>	1.146
<i>Trisetile Blue FBLN 300%</i>	2.917
<i>Triactive Gold. Yellow DF-RL 150%</i>	13.194
<i>Triactive Red DF-4BL 150%</i>	1.528
<i>Triactive Navy Blue DF-RGB 150%</i>	2.708
Na ₂ CO ₃ H ₂ O	20
<i>Dispersing Agent (Lyocol RDN Liquid)</i>	2 ml / L

Tableau 4.1 : Composition de la recette *Peat Green*

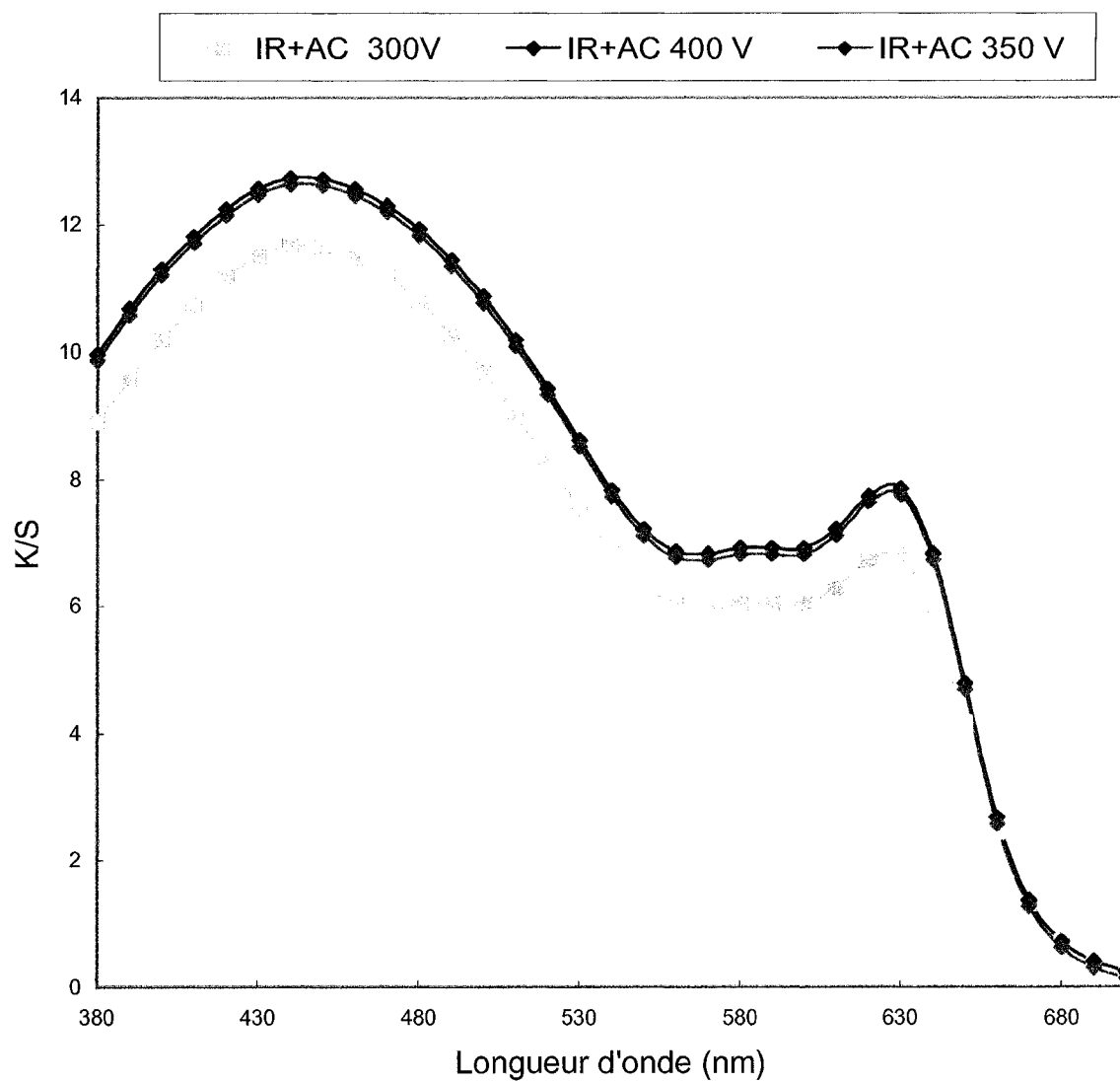


Figure 4.1 : La courbe de K/S en fonction de la longueur d'onde à voltage différent (*Peat Green*)

4.1.3 Influence de la vitesse de défilement du tissu

Les recherches effectuées sur le four infrarouge par Monsieur Broadbent et son équipe, pour avoir une fixation maximale du colorant réactif sur le coton il faut pousser le four infrarouge à une puissance maximale avec une température du tissu à la sortie autour de 100°C.

Cette caractéristique déjà optimisée a été gardée. Les paramètres de la deuxième unité qui est l'étuve à air chaud ont été étudiés.

La fixation des colorants dispersés sur la partie polyester demande un contact plus long du tissu avec l'air chaud ce qui se traduit par un temps de résidence plus long dans l'étuve à air chaud équivalent à une température de tissu à la sortie de 180°C. En fait le pyromètre qui enregistre la température du tissu à la sortie de l'étuve est situé à quelques centimètres de la fente de sortie par conséquent la température lue est moins que celle à l'intérieur de l'étuve (210°C).

Le temps de résidence a été étudié en utilisant la même recette, *Peat Green*, en étudiant de façon aléatoire quatre temps de résidence 30, 45, 50 et 60 s. Le voltage du four infrarouge a été fixé à 400 V et la vitesse à 3 m/min

La Figure 4.2 montre les résultats obtenus.

Lorsque le temps de résidence dans l'étuve à air chaud augmente la profondeur de la couleur augmente. D'un autre côté, d'après le test du toucher il vaut mieux utiliser un temps de résidence de 45 s, aux temps de résidence plus long le toucher de tissu devient plus dur.

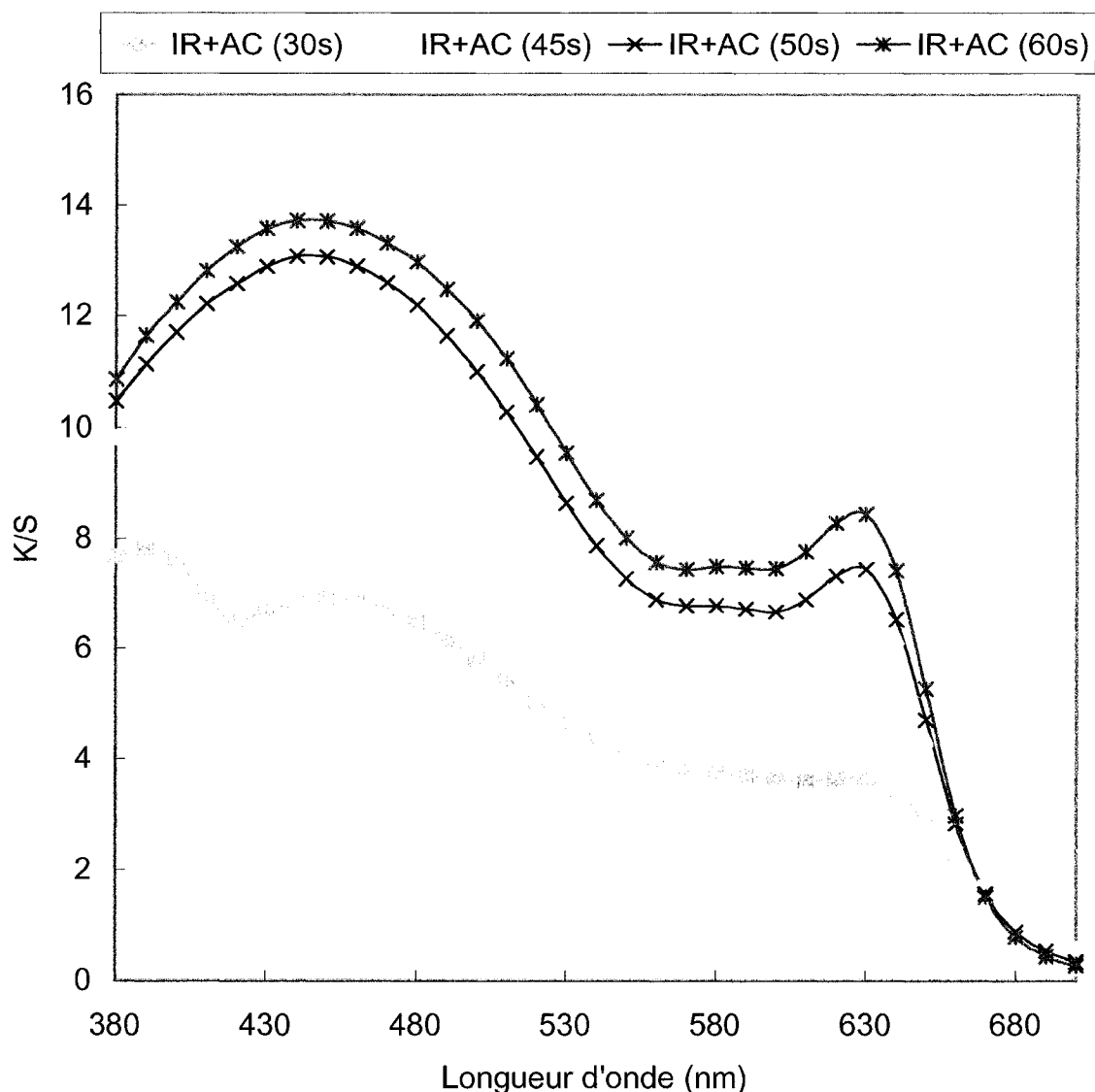


Figure 4.2 : La courbe de K/S en fonction de la longueur d'onde à des temps de résidence différents (*Peat Green*)

4.1.4 Influence de la concentration de l'alcali

Étant donné que la composition des deux recettes de Tri-tex qui se fixent sous condition alcaline indique qu'il faut utiliser une concentration de l'alcali (carbonate de sodium) de 20 g/l, cette valeur de concentration a été gardée constante sans optimisation.

La possibilité de dégradation des colorants dispersés sous conditions alcalines est plus grande à des valeurs du pH élevées. Donc, l'addition de la soude caustique est à éviter.

La Figure 4.3 présente les résultats de l'utilisation de la soude caustique et du *Soda ash* (Na_2CO_3) dans le procédé infrarouge plus air chaud et avec les paramètres déjà optimisés. La Figure 4.3 présente deux courbes différentes dues aux dégradations du colorant dispersé (*Trisetile Yellow Brown L*) suite à l'utilisation de la soude caustique.

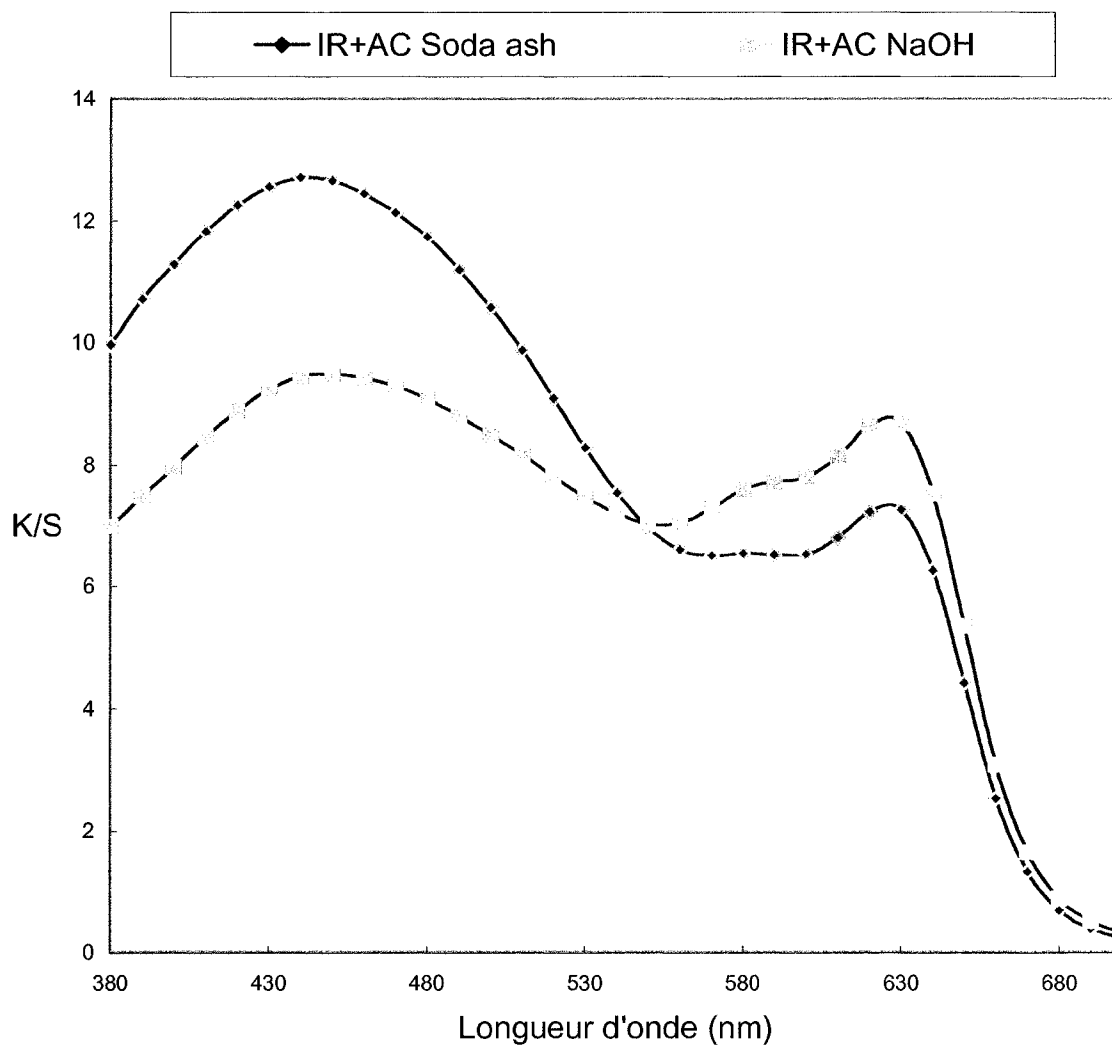


Figure 4.3 : La courbe de K/S en fonction de la longueur d'onde pour la comparaison entre Soda ash et NaOH (*Peat Green*)

4.2 Comparaison entre notre procédé pilote et l'épuisement

4.2.1 Introduction

L'épuisement est le procédé batch présenté dans le premier chapitre dans lequel la coloration s'effectue dans deux étapes : une pour colorer la partie polyester et l'autre pour la partie coton. Dans cette comparaison le témoin a été coloré dans la machine *Polycolor* présentée dans la Figure 3.1. La description de cette machine et son mode de fonctionnement sont donnés dans le chapitre 3.

Dans cette partie nous allons comparer le procédé d'épuisement et le procédé IR+AC pour les quatre recettes.

Nous allons utiliser dans cette étude du IR+AC les paramètres déjà optimisés dans la partie 4.1. Ces paramètres sont:

- Un voltage du four infrarouge de 400 V
- Un temps de résidence dans l'étuve à air chaud de 45 s, ce qui est équivalent à une vitesse du tissu de 3 m/min
- Une concentration de carbonate de sodium de 20 g/L

Le Tableau 4.2 récapitule les conditions opératoires utilisées durant cette étude.

Paramètres	Valeurs
Rétention du tissu après imprégnation	72% (H ₂ O)
Température de l'étuve à AC	210°C
Pression des rouleaux de Pad	10 kPa/cm
Température du tissu à la sortie du four IR	Autour de 100°C
Voltage du four IR	400 V
Vitesse de défilement du tissu	3.0 m/min
Temps de résidence dans AC	45 s
Température du tissu à la sortie de AC	180°C

Tableau 4.2 : Conditions opératoires utilisées pour les quatre recettes

4.2.2 Light Green

Pour le procédé d'épuisement, la recette montrée au Tableau 3.1 a été utilisée. Pour le procédé IR+AC, nous avons utilisée la même composition du tableau 3.1 mais après la conversion des pourcentages donnés en quantité mesurable (g/L).

Le Tableau 4.3 montre la recette utilisée. Cette recette comprend les colorants réactifs capables de se fixer à pH = 7 (neutre) et donc aucun alcali n'a été ajouté.

Les colorants et les produits chimiques	Épuisement	IR + AC
	25/75% (coton/polyester)	Concentration (g/L)
<i>Trisetile Yellow Brown L</i>	0.024%	0.320
<i>Trisetile Blue FBLN 300%</i>	0.021%	0.280
<i>Neutrifix Yellow GL</i>	0.0235%	0.313
<i>Neutrifix Red 3B</i>	0.0012%	0.016
<i>Neutrifix Blue G</i>	0.0385%	0.513
<i>Tex-buffer P-7 (NaH₂PO₄)</i>	1 g/L	1 g/L
<i>Dispersing Agent (Lyocol RDN Liquid)</i>	2 ml/L	2 ml/L

Tableau 4.3 : Composition de la recette *Light Green*

La Figure 4.4 présente la différence des spectres d'absorption K/S en fonction de la longueur d'onde entre deux procédés de coloration (épuisement et IR+AC). Elle montre que le procédé IR+AC donne une coloration plus profonde que celui d'épuisement, avec un rendement de fixation de 96.68%, c'est à dire qu'un échantillon lavé après l'étape de fixation ne dégorge que très peu de colorant non-fixé. En conséquence, les spectres d'absorption des échantillons lavés et non-lavés sont presque identiques.

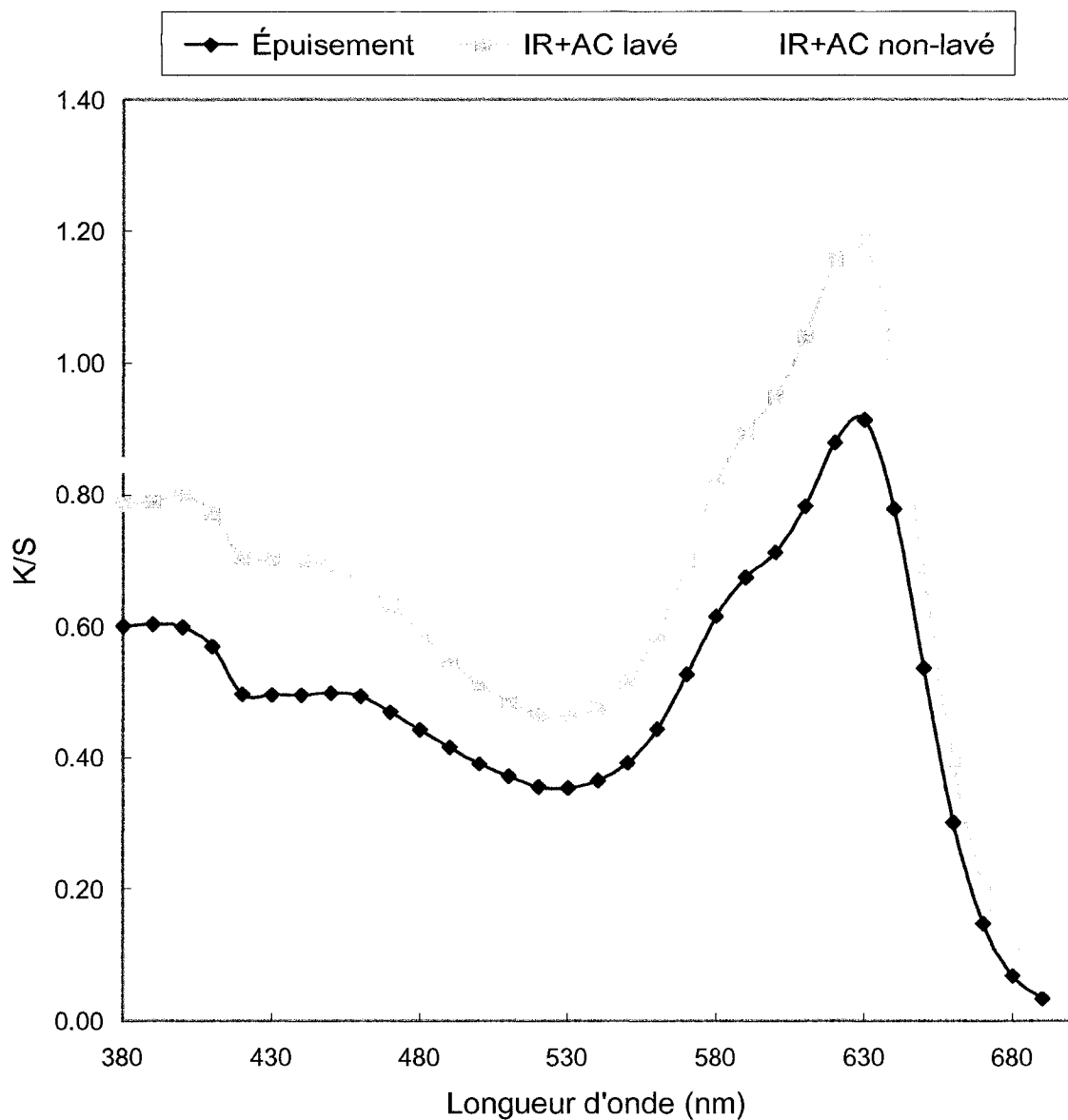


Figure 4.4 : Courbe de K/S en fonction de la longueur d'onde (*Light Green*)

4.2.3 Dark Green

La recette utilisée pour obtenir cette couleur est celle montrée dans le Tableau 4.3 multipliée par un facteur 5. Le Tableau 4.4 montre la composition de cette recette.

La Figure 4.5 montre que le tissu coloré par le procédé IR+AC donne une coloration plus profonde que celle obtenue par le procédé d'épuisement. Le rendement de fixation des colorants par le procédé IR+AC est autour de 99.83%.

Les colorants et les produits chimiques	Épuisement	IR+AC
	25/75% (coton/polyester)	Concentration (g/L)
<i>Trisetile Yellow Brown L</i>	0.1200%	1.6000
<i>Trisetile Blue FBLN 300%</i>	0.1050%	1.4000
<i>Neutrifix Yellow GL</i>	0.1175%	1.5650
<i>Neutrifix Red 3B</i>	0.006%	0.0800
<i>Neutrifix Blue G</i>	0.1925%	2.5650
<i>Tex-buffer P-7 (NaH₂PO₄)</i>	1 g/L	1 g/L
<i>Dispersing Agent (Lyocol RDN Liquid)</i>	2 ml/L	2 ml/L

Tableau 4.4 : Composition de la recette *Dark Green*

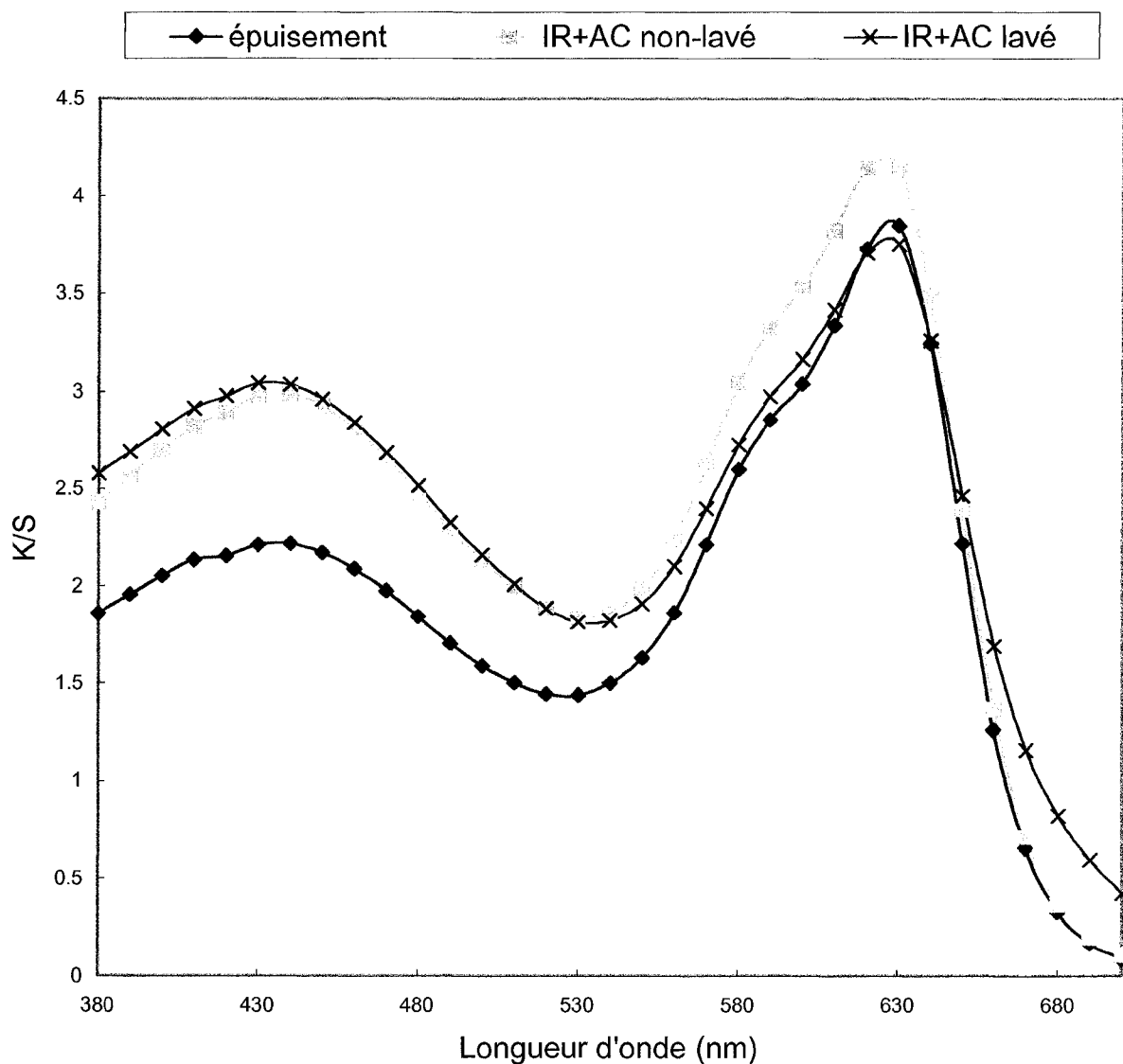


Figure 4.5 : Courbe K/S en fonction de la longueur d'onde (*Dark Green*)

4.2.4 Peat Green

La composition de cette recette pour le procédé IR+AC est celle montrée précédemment dans le Tableau 4.1.

Pour cette recette à fixation alcaline, le procédé IR+AC donne une coloration plus profonde que celle d'épuisement avec un rendement de fixation de 76.27%.

Le résultat graphique de l'utilisation de cette recette est donné dans la figure 4.6.

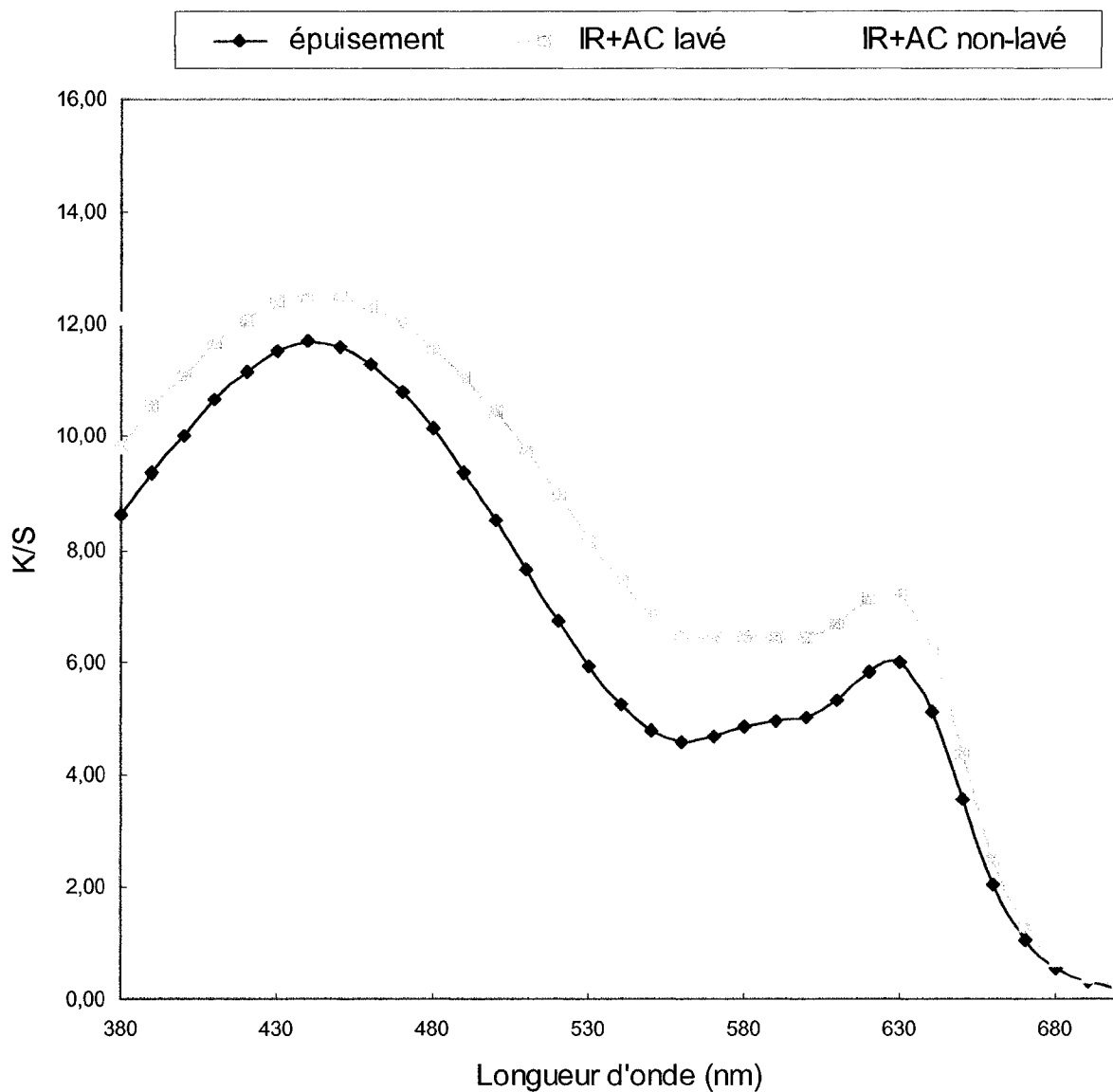


Figure 4.6 : Courbe de K/S en fonction de la longueur d'onde (*Peat Green*)

4.2.5 Violet

Le Tableau 4.5 montre la composition de la recette *Violet* pour le procédé IR+AC. La Figure 4.7 démontre que le procédé IR+AC donne une coloration plus profonde que celle d'épuisement avec un rendement de fixation de 70%.

Les colorants et les produits chimiques	Épuisement	IR+AC
	25/75% (coton/polyester)	Concentration (g/L)
<i>Trisetile Yellow Brown L</i>	0.150%	2.083
<i>Trisetile Rubine RL 200%</i>	0.270%	3.750
<i>Trisetile Blue FBLN 300%</i>	0.300%	4.167
<i>Triactive G. Yellow DF-RL 150%</i>	0.075%	1.042
<i>Triactive Red DF-4BL 150%</i>	0.215%	2.986
<i>Triactive Navy Blue DF-RGB 150%</i>	0.225%	3.125
<i>Soda Ash (Na₂CO₃)</i>	20 g/L	20 g/L
<i>Dispersing Agent (Lyocol RDN Liquid)</i>	2 ml/L	2 ml/L

Tableau 4.5 : Composition de la recette *Violet*

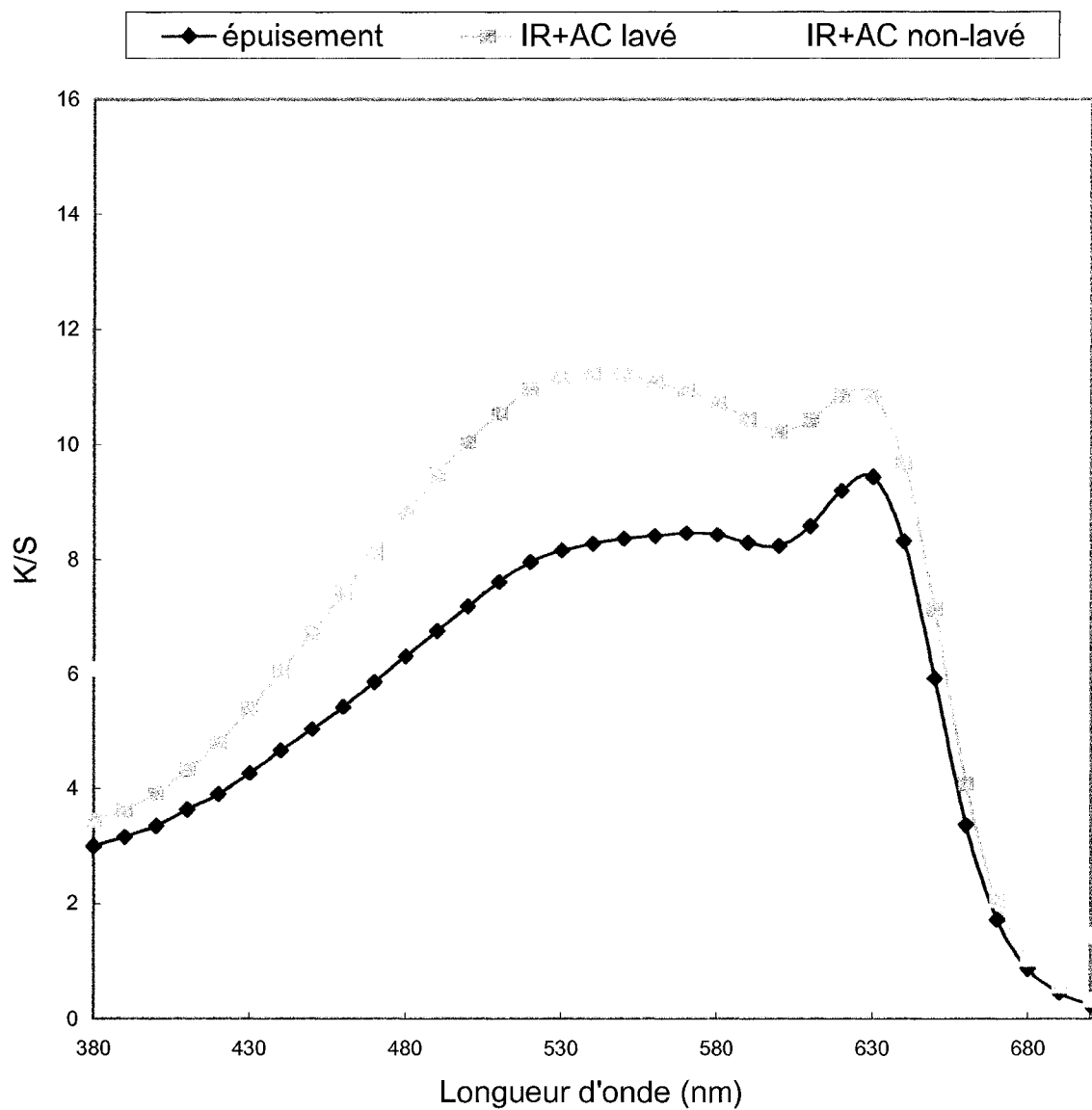


Figure 4.7 : Courbe de K/S en fonction de la longueur d'onde (Violet)

4.2.6 Conclusions

La conclusion numérique et par le toucher de ces premiers résultats sont :

- Le procédé IR+AC fonctionne très bien.
- La même couleur a été produite par un procédé complètement différent par rapport à un des procédés les plus utilisés actuellement dans l'industrie du textile.
- Le gain de colorant a été remarquable pour le procédé IR+AC par rapport à l'épuisement avec un rendement de fixation autour de 96% pour les recettes à utilisation neutre et 75% pour les recettes à utilisation alcaline.
- Le toucher de tissu est acceptable et il n'y a pas de différence entre le toucher des deux tissus teintes par deux procédés différents.
- La même coloration a été produite sans addition de sel et d'acide.

Le Tableau 4.6 récapitule les résultats trouvés dans cette section concernant le rendement de fixation et la différence de couleur. De plus, ce tableau donne une idée sur la différence visuelle et du toucher entre les échantillons faits par épuisement et ceux par IR+AC.

Dans le tableau ci-dessous, les échantillons colorés par le procédé d'épuisement ont été utilisés comme standards.

		<i>Light Green</i>	<i>Dark Green</i>	<i>Peat Green</i>	<i>Violet</i>
Rendement de fixation		96.68%	99.83%	76.27%	70.00%
ΔE (épuisement et IR+AC)		2.80	4.37	6.29	6.59
Différence visuelle	épuisement	Coloration plus claire	Coloration Plus verte et plus claire	Coloration Plus jaune et plus claire	Coloration Plus bleue et plus claire
	IR+AC	Coloration plus jaune	Coloration plus jaune	Coloration plus rouge	Coloration plus rouge
Différence de toucher épuisement et IR+AC)		Aucune	Aucune	Aucune	Aucune
ΔL (épuisement et IR+AC)		-2.50	-3.20	-3.82	-5.84
ΔC (épuisement et IR+AC)		0.89	-1.33	3.96	0.51
ΔH (épuisement et IR+AC)		-0.92	-2.66	-3.04	3.01

Tableau 4.6 : Les valeurs du rendement de fixation et de différence de couleur pour les quatre recettes

Cependant un problème vient d'apparaître lors des tests visuels de tissu. C'est le problème de la différence visible de nuance entre les deux faces de tissu. Ceci a été expliqué par beaucoup d'auteurs comme un problème de différence de vitesse de migration des colorants dispersés sur les deux faces lors de la période de séchage initiale dans le four infrarouge.

Parmi les auteurs qui ont discuté ce problème on trouve Zhao [ZHAO, 1999], qui a trouvé que la suppression de la migration des colorants réactifs sur la surface du tissu donne une bonne uniformité de couleur sur toute la nappe colorée.

On va discuter largement de ce problème et la façon dont on est procédé pour le résoudre dans la partie 4.3.

4.3 Migration des colorants dispersés

4.3.1 Introduction

Le problème de la migration des colorants à la surface de tissus a été un obstacle difficile à résoudre. Nous avons proposé d'ajouter un agent anti-migrant afin d'empêcher la migration des colorants dispersés vers la surface du tissu et pour avoir une coloration égale sur les deux faces du tissu. Cet agent anti-migrant (alginate de sodium) supprime la migration des colorants dispersés vers la surface du tissu en provoquant une agrégation des particules de colorant.

Le transport de ces particules encapsulées dans l'eau qui migrent à la surface du tissu où a lieu l'évaporation est mécaniquement empêché. L'agrégation n'empêche pas la sublimation des colorants pendant le procédé thermique de teinture.

Après des tests préliminaires sur les quatre recettes en ajoutant une quantité de 20 g/L d'anti-migrant (Alginate de sodium), on est arrivé à supprimer la migration de ces colorants. Mais un autre problème vient d'apparaître: tous les échantillons colorés en présence de l'anti-migrant sont remplis par des tâches bleues qui sont difficiles à supprimer après le lavage.

L'explication possible de ces tâches, c'est que l'agent anti-migrant favorise totalement ou partiellement l'agrégation des particules du colorant dispersé bleu dans le bain de Pad. Apparemment, ce colorant est *Trisetile Blue FBLN 300%* qui se précipite facilement en présence d'alginate de sodium. Il nous fallait donc changer notre colorant bleu *Trisetile Blue FBLN 300%* par un autre qui a les caractéristiques suivantes:

- Provoquer moins d'agrégation en présence de l'alginate de sodium (anti-migrant)
- Avoir des grains très petits

Tri-tex a pu nous fournir un colorant de la même nuance qui a ces qualités, il se nomme *Trisetile Blue RBL 100%*. La poudre de ce colorant renferme moins de colorant que celle du colorant précédent (300%).

4.3.2 Procédure expérimentale

Pour avoir la même concentration du nouveau colorant que l'ancien *Trisetile Blue FBLN 300%*, nous avons multiplié la concentration de *Trisetile Blue RBL 100%* par un facteur quatre. Avec un facteur trois, la coloration trouvée était trop pâle. Un agent mouillant (Leonil C50) a aussi été ajouté pour faciliter le mouillage des fibres de tissu.

Puisque le colorant bleu a été changé dans les quatre recettes, il a fallu refaire tous les essais précédents. Pour les essais d'optimisation, les paramètres déjà optimisés ont resté les mêmes. Alors que pour les essais concernant la comparaison entre le procédé d'épuisement et celui d'IR+AC il y avait des changements.

Nous allons voir ci-dessous les tableaux et les résultats ainsi obtenus.

Pour les nouvelles recettes on a gardé leurs mêmes noms en ajoutant un indice 2 à la fin de chaque recette.

4.3.3 Light Green2

Le Tableau 4.7 montre la recette utilisée pour le procédé IR+AC. La Figure 4.8 montre la comparaison en terme de K/S entre l'application du procédé IR+AC et l'épuisement. Les deux courbes de la figure ont la même allure avec une différence de couleur $\Delta E = 4.37$. Le rendement de fixation de cette recette par le procédé IR+AC est 83.60%.

Les colorants et les produits chimiques	Épuisement	IR+AC
	25/75% (coton/polyester)	Concentration (g/L)
<i>Trisetile Yellow Brown L</i>	0.0240%	0.3200
<i>Trisetile Blue RBL 100%</i>	0.0840%	1.1200
<i>Neutrifix Yellow GL</i>	0.0235%	0.3130
<i>Neutrifix Red 3B</i>	0.0012%	0.0160
<i>Neutrifix Blue G</i>	0.0385%	0.5130
<i>Tex-buffer P-7</i> (NaH_2PO_4)	1 g/L	1 g/L
<i>Dispersing Agent (Lyocol RDN Liquid)</i>	2 ml/L	2 ml/L
Agent anti-migrant (alginate de sodium)	20 g/L	20 g/L
Agent mouillant (Leonil C50)	2 ml/L	2 ml/L

Tableau 4.7 : Composition de la recette *Light Green2*

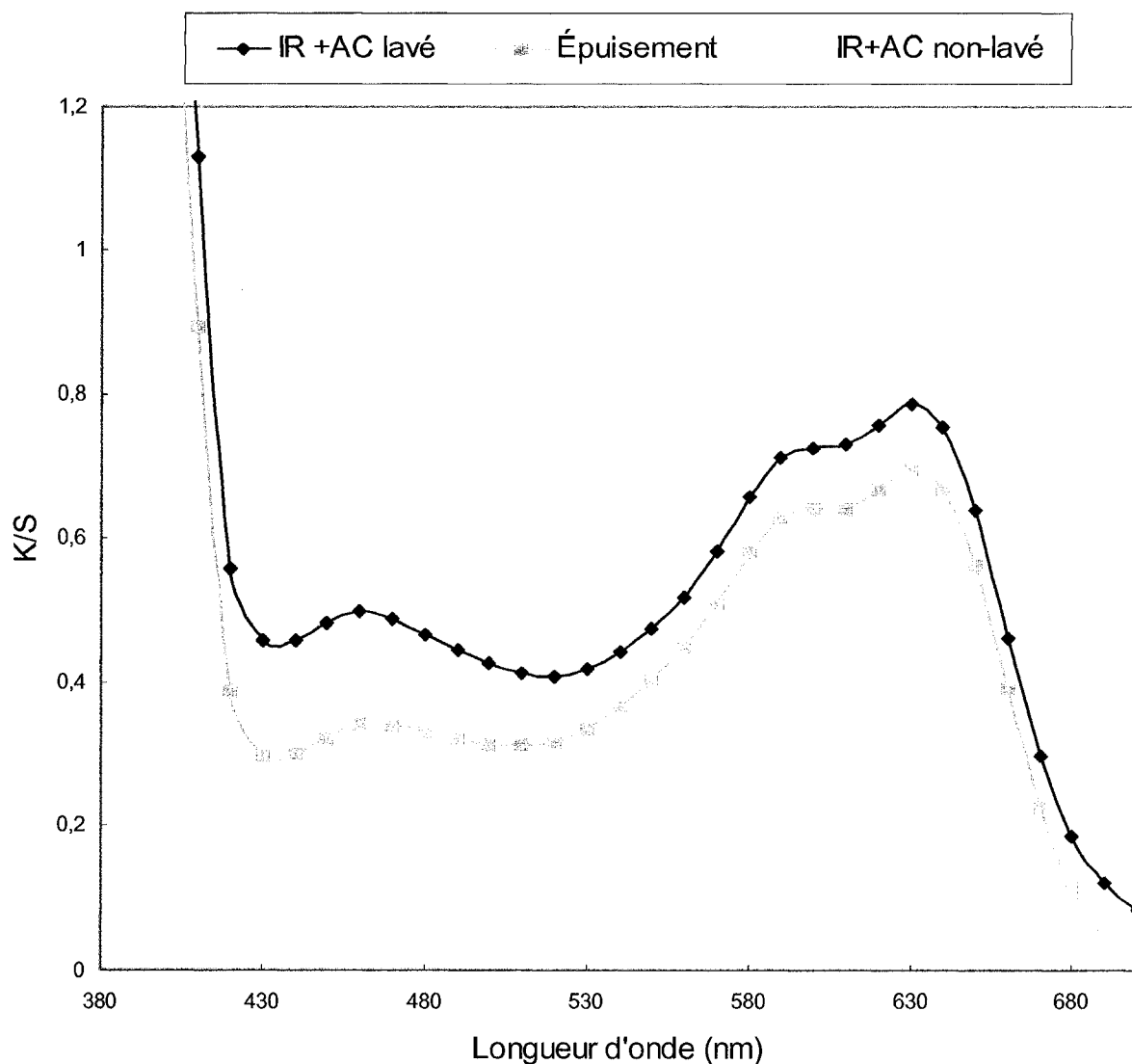


Figure 4.8 : Courbe de K / S en fonction de la longueur d'onde (*Light green2*)

La coloration résultante de cette recette par rapport à celle de *Light green* montre que le changement du colorant bleu n'a pas beaucoup changé la nuance. On a obtenu la même allure que la Figure 4.4. La seule différence est celle présentée dans l'intervalle de longueur d'onde [380-430 nm] qui normalement représente la couleur violette (coloration invisible à l'œil nu qui est trop pâle).

4.3.4 *Dark Green2*

Le Tableau 4.8 montre la recette utilisée pour le procédé par épuisement et par IR+AC. La Figure 4.9 montre les résultats obtenus par la nouvelle recette. La différence de couleur entre les deux échantillons teints par les deux procédés est $\Delta E = 1.87$. Le rendement de fixation de cette recette pour le procédé IR + AC est 74.68%.

Les colorants et les produits chimiques	Épuisement	IR+AC
	25/75% (coton/polyester)	Concentration (g/L)
<i>Trisetile Yellow Brown L</i>	0.1200%	1.6000
<i>Trisetile Blue RBL 100%</i>	0.4200%	5.6000
<i>Neutrifix Yellow GL</i>	0.1175%	1.5650
<i>Neutrifix Red 3B</i>	0.006%	0.0800
<i>Neutrifix Blue G</i>	0.1925%	2.5650
<i>Tex-buffer P-7</i> (NaH_2PO_4)	1 g/L	1 g/L
<i>Dispersing Agent (Lyocol RDN Liquid)</i>	2 ml/L	2 ml/L
Agent anti-migrant (alginate de sodium)	20 g/L	20 g/L
Agent mouillant (Leonil C50)	2 ml/L	2 ml/L

Tableau 4.8 : Composition de la recette *Dark Green2*

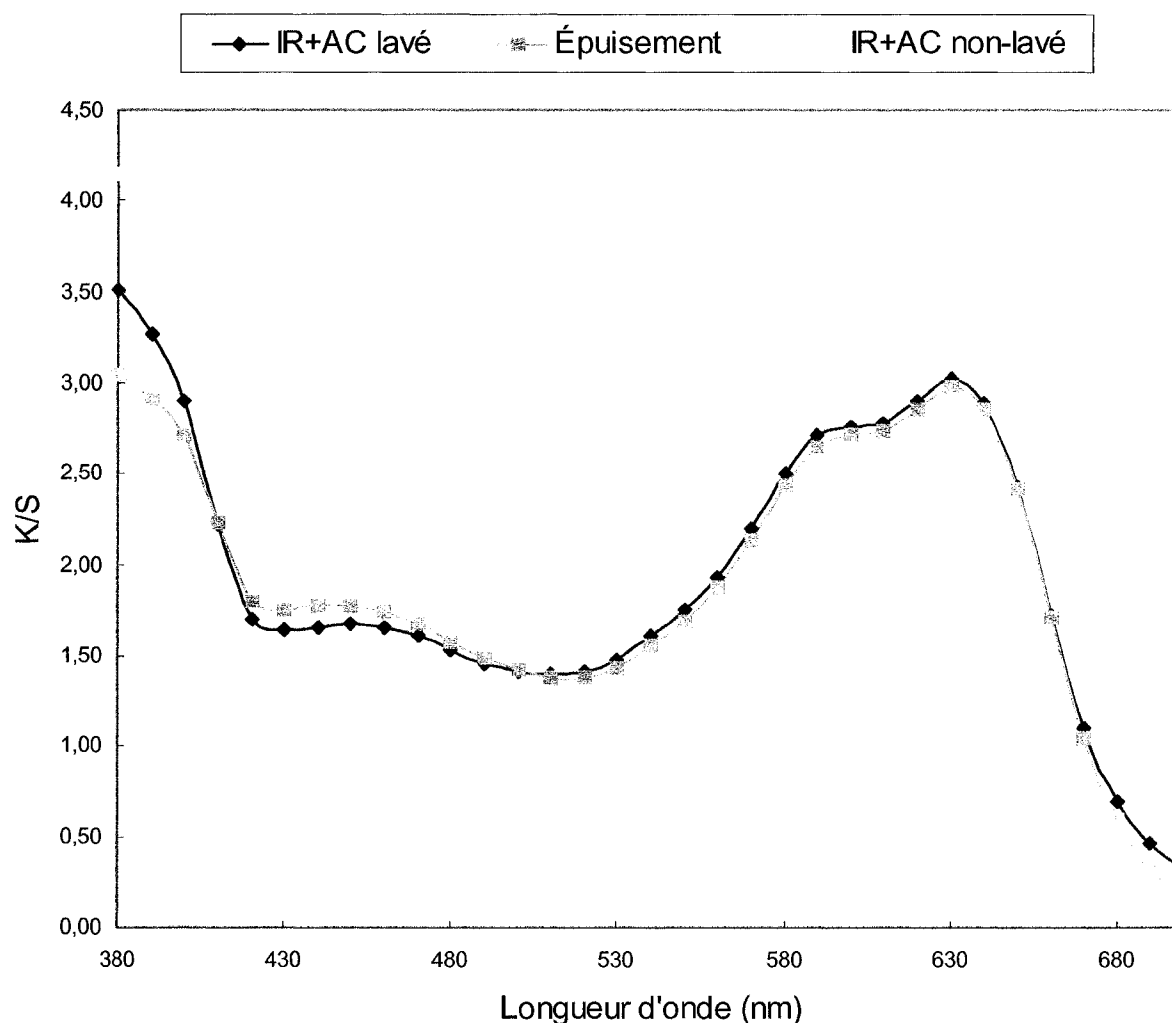


Figure 4.9 : Courbe de K / S en fonction de la longueur d'onde (*Dark Green2*)

La coloration résultante de cette recette par rapport à celle de *Dark green* montre que le changement du colorant bleu n'a pas beaucoup changé la nuance. On a obtenu la même allure que la Figure 4.5. La seule différence est celle présentée dans l'intervalle de longueur d'onde [380-430 nm] qui normalement représente la couleur violette (coloration invisible à l'œil nu qui est trop pâle).

4.3.5 *Peat Green2*

Le Tableau 4.9 montre la recette utilisée pour le procédé IR+AC. La Figure 4.10 montre la même chose que la Figure 4.9 avec une différence de couleur de $\Delta E = 5.04$. Le rendement de fixation de cette recette par le procédé IR+AC est 70.0%.

Les colorants et les produits chimiques	Épuisement	IR+AC
	25/75% (coton/polyester)	La concentration (g/L)
<i>Trisetile Yellow Brown L</i>	0.9000%	12.5000
<i>Trisetile Rubine RL 200%</i>	0.0825%	1.1460
<i>Trisetile Blue RBL 100%</i>	0.8400%	11.6670
<i>Triactive Gold Yellow DF-RL 150%</i>	0.9500%	13.1940
<i>Triactive Red DF-4BL 150%</i>	0.1100%	1.5280
<i>Triactive Navy Blue DF-RGB 150%</i>	0.1950%	2.7080
<i>Soda Ash (Na₂CO₃)</i>	20 g/L	20 g/L
<i>Dispersing Agent (Lyocol RDN Liquid)</i>	2 ml/L	2 ml/L
Agent anti-migrant (alginate de sodium)	20 g/L	20 g/L
Agent mouillant (Leonil C50)	2 ml/L	2 ml/L

Tableau 4.9 : Composition de la recette *Peat Green2*

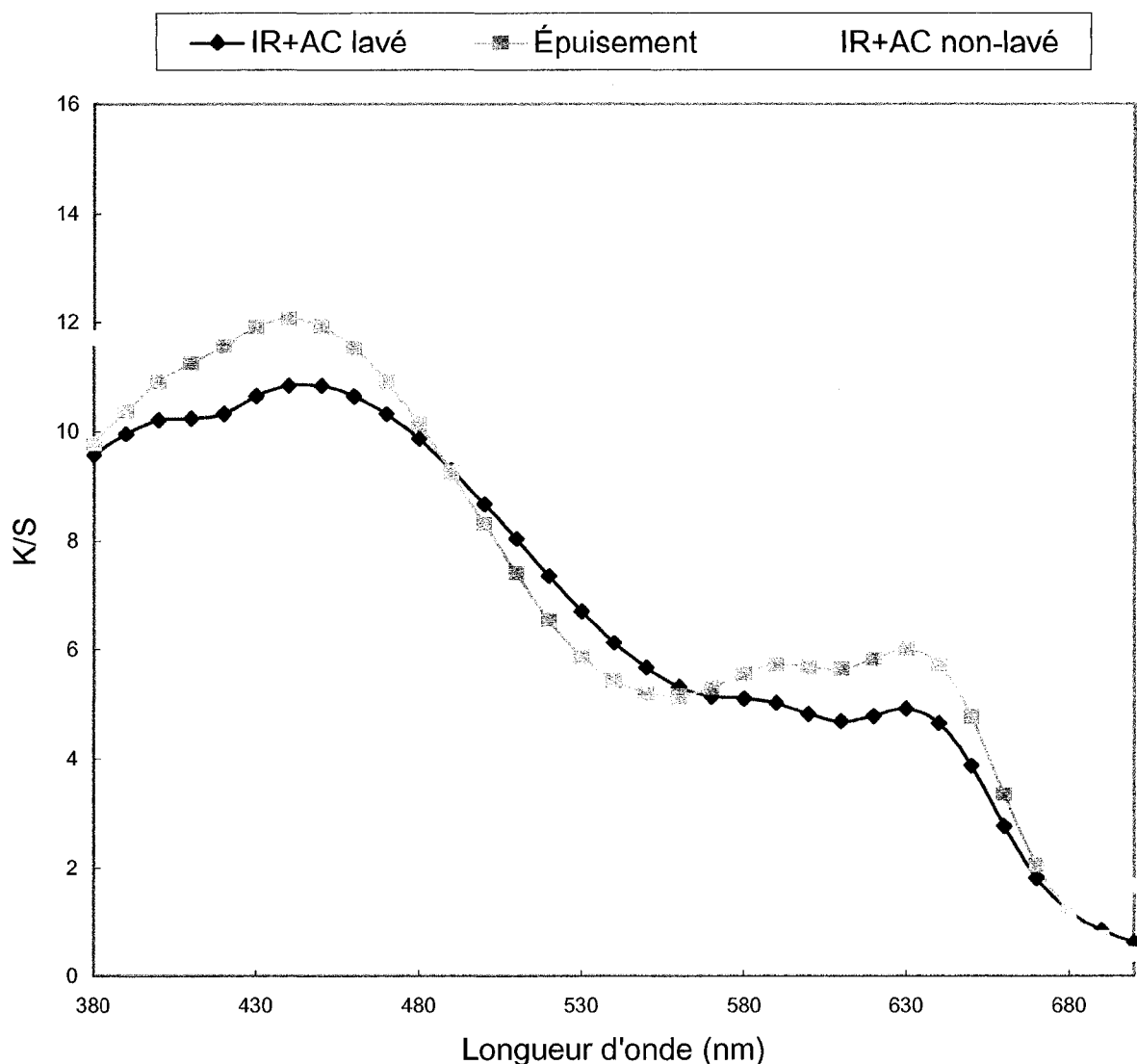


Figure 4.10 : Courbe de K/S en fonction de la longueur d'onde (*Peat Green2*)

La coloration résultante de cette recette par rapport à celle de *Peat green* montre que le changement du colorant bleu n'a pas beaucoup changé la nuance. On a obtenu la même allure que la figure 4.6. La seule différence est celle présentée dans l'intervalle de longueur d'onde [380-430 nm] qui normalement représente la couleur violette (coloration invisible à l'œil nu qui est trop pâle).

4.3.6 Violet2

Le Tableau 4.10 montre la recette utilisée pour le procédé IR+AC. La Figure 4.11 présente la même chose que la Figure 4.10 avec une différence de couleur de $\Delta E = 6.99$, l'échantillon coloré par le procédé d'épuisement est pris comme témoin. Le rendement de fixation de cette recette avec le procédé IR + AC est 73.96%.

Les colorants et les produits chimiques	Épuisement	IR+AC
	25/75% (coton/polyester)	Concentration (g/L)
<i>Trisetile Yellow Brown L</i>	0.150%	2.083
<i>Trisetile Rubine RL 200%</i>	0.270%	3.750
<i>Trisetile Blue RBL 100%</i>	1.200%	16.667
<i>Triactive Gold Yellow DF-RL 150%</i>	0.075%	1.042
<i>Triactive Red DF-4BL 150%</i>	0.215%	2.986
<i>Triactive Navy Blue DF-RGB 150%</i>	0.225%	3.125
Soda Ash (Na_2CO_3)	20 g/L	20 g/L
Dispersing Agent (<i>Lyocol RDN Liquid</i>)	2 ml/L	2 ml/L
Agent anti-migrant (alginate de sodium)	20 g/L	20 g/L
Agent mouillant (Leonil C50)	2 ml/L	2 ml/L

Tableau 4.10 : Composition de la recette *Violet2*

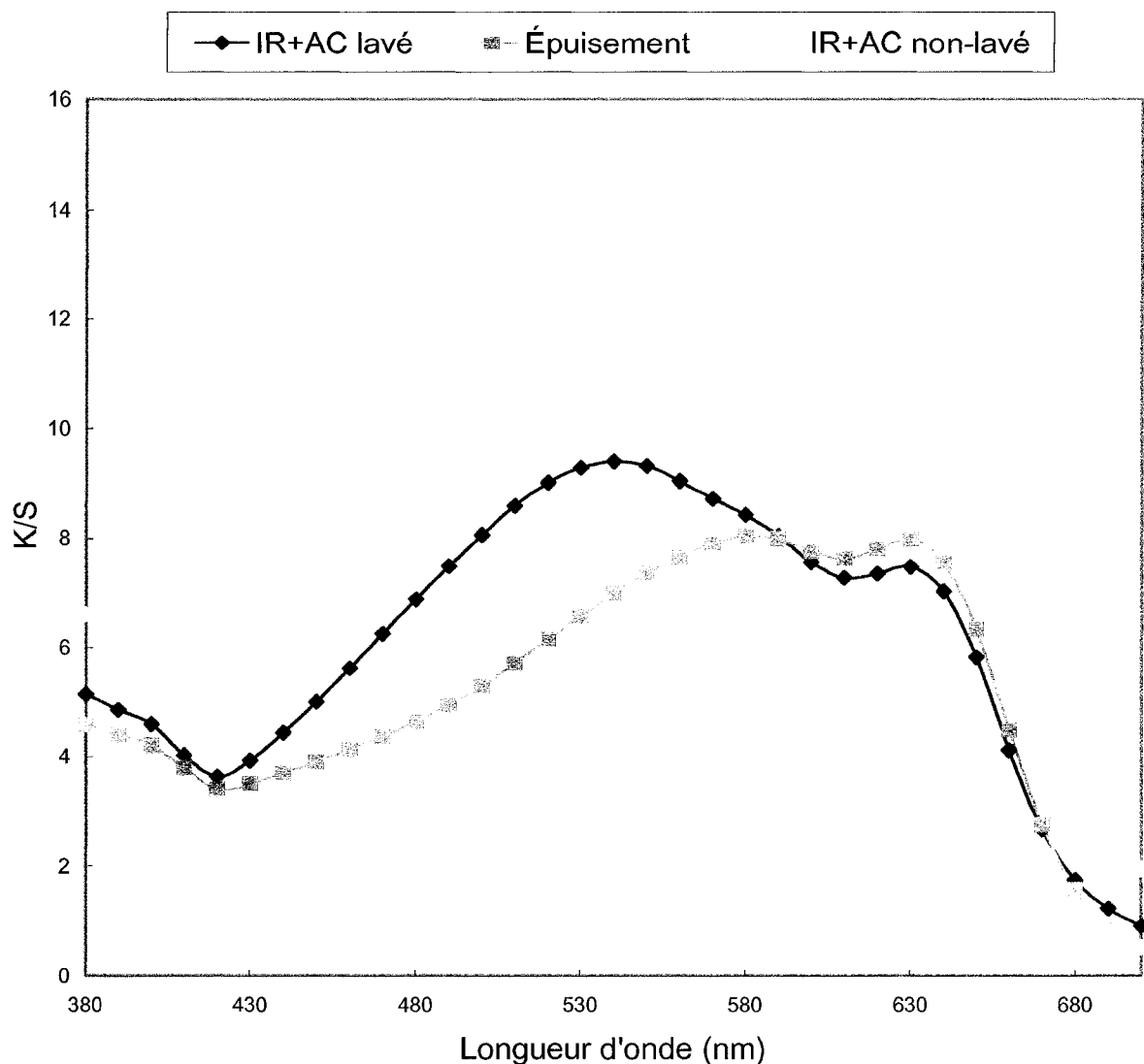


Figure 4.11 : Courbe de K/S en fonction de la longueur d'onde (*Violet2*)

La coloration résultante de cette recette par rapport à celle de *Violet* montre que le changement du colorant bleu n'a pas beaucoup changé la nuance. On a obtenu la même allure que la Figure 4.7. La seule différence est celle présentée dans l'intervalle de longueur d'onde [380-430 nm] qui normalement représente la couleur violette (coloration invisible à l'œil nu qui est plus pâle).

4.3.7 Discussions et résultats

Le Tableau 4.11 récapitule les résultats trouvés dans cette section.

		<i>Light Green2</i>	<i>Dark Green2</i>	<i>Peat Green2</i>	<i>Violet2</i>
Rendement de fixation		83.60%	74.68%	70.00%	73.96%
ΔE (épuisement et IR+AC)		4.37	1.87	5.04	6.99
Différence visuelle	épuisement	Coloration plus claire et plus bleue	Coloration Plus verte	Coloration Plus jaune	Coloration Plus bleue et plus claire
	IR+AC	Coloration moins claire et moins bleue	Coloration plus bleue	Coloration plus rouge	Coloration plus rouge
Différence de toucher (épuisement et IR+AC)		Aucune	Aucune	Aucune	Aucune
ΔE (nuance et nuance2) pour IR+AC		4.39	8.23	3.57	3.64
Différence de toucher (nuance et nuance 2) pour IR+AC		Aucune	Aucune	Aucune	Aucune
ΔL (épuisement et IR+AC)		-2.4465	-0.3142	0.1545	-2.7185
ΔC (épuisement et IR+AC)		-1.3432	-0.1516	-0.5172	1.6207
ΔH (épuisement et IR+AC)		-3.3605	1.8390	5.0170	6.2435

Tableau 4.11 : Les résultats récapitulatifs de la Section 4.3

Dans le tableau ci-dessus, les termes nuance et épuisement présentent les standards.

4.4 Tests qualitatifs

4.4.1 Test d'acétone

Ce test implique un drainage d'échantillon expérimental et standard après la coloration dans un l'acétone durant 24 heures suivis du lavage et du séchage. Pour ce test l'évaluation du tissu est faite comme expliquée dans le troisième chapitre en calculant la différence de couleur avant et après le test plus la mesure de l'absorbance de la solution de l'acétone. Les deux tableaux 4.12 et 4.13 représentent les résultats ainsi trouvés.

Avec A = La somme des absorbances de la solution colorée dans l'intervalle de longueur d'onde [380-700 nm] avec un intervalle de $\lambda = 10 \text{ nm}$.

➤ Pour le procédé d'épuisement

Pour les trois recettes *Peat green2*, *Violet2* et *Dark green2*, il n'y a pas une grande différence de couleur ΔE entre les deux échantillons avant et après le test d'acétone. Alors que la recette *Light green2*, il représente une différence de couleur de 1.983 qui est dû à la différence de clarté L .

➤ Pour le procédé IR+AC

Les échantillons colorés par les quatre recettes présentent une différence de couleur légèrement grand par rapport au procédé d'épuisement à l'exception de la recette *Light green2*.

➤ Comparaison entre les deux procédés

D'après les valeurs de A pour les deux procédés, on peut dire que les colorants dispersés fixés par le procédé IR+AC dégorgent beaucoup dans l'acétone que par le procédé d'épuisement. Ceci est dû à la quantité appréciable des colorants dispersés non-adsorbés dans le polyester par le procédé IR+AC surtout pour les deux nuances foncées. Ces colorants, qui n'ont pas subi la sublimation, sont retenus superficiellement par les fibres de coton. Malgré les valeurs élevées de A pour les deux nuances *Peat green2* *Violet2*, les couleurs étaient visiblement les mêmes après le test. On peut dire aussi que ce test nous a confirmé l'efficacité de notre procédé pour la fixation des colorants dispersés sur le polyester.

	Échantillons				Standard			
	Après acétone				Avant acétone			
	Épuisement				Épuisement			
	# <i>Light green2</i>	# <i>Peat green2</i>	# <i>Violet2</i>	# <i>Dark green2</i>	# <i>Light green2</i>	# <i>Peat green2</i>	# <i>Violet2</i>	# <i>Dark green2</i>
<i>L</i>	71.920	32.590	31.290	49.160	70.053	32.258	30.913	49.803
<i>a</i>	-7.150	-0.390	2.330	-10.400	-7.428	-0.193	2.560	-10.353
<i>b</i>	-5.470	14.650	-12.620	-1.650	-4.865	14.168	-12.373	-1.603
ΔE	1.983	0.618	0.507	0.646	0	0	0	0
<i>A</i>	0.3636	3.3158	2.3071	0.7233	—	—	—	—

Tableau 4.12 : Résultats du test d'acétone pour les échantillons teints par épuisement

	Échantillons				Standard			
	Après acétone				Avant acétone			
	IR+AC				IR+AC			
	# <i>Light green2</i>	# <i>Peat green2</i>	# <i>Violet2</i>	# <i>Dark green2</i>	# <i>Light green2</i>	# <i>Peat green2</i>	# <i>Violet2</i>	# <i>Dark green2</i>
<i>L</i>	68.260	33.210	30.570	51.070	67.606	32.412	28.194	49.488
<i>a</i>	-7.650	5.300	9.640	-9.430	-7.432	4.670	8.892	-9.765
<i>b</i>	-2.290	13.960	-12.390	-5.010	-1.246	12.828	-11.142	-3.352
ΔE	1.251	1.522	2.786	2.316	0	0	0	0
<i>A</i>	1.603	34.8059	24.7107	5.7815	—	—	—	—

Tableau 4.13 : Résultats du test d'acétone pour les échantillons teints par IR+AC

4.4.2 Test de dégorgement

Ce test implique un lavage d'échantillon expérimental et standard après la coloration dans la machine à jet *Polycolor* suivi du lavage et du séchage. Ce lavage se fait avec de l'eau et d'un détergent commercial (*Liqui-Nox*). L'évaluation de ce test est faite de la même façon que le test d'acétone.

Les deux tableaux 4.14 et 4.15 présentent tous les résultats de ce test pour les deux procédés épuisement et IR+AC successivement.

Avec A = La somme des absorbances de la solution colorée dans l'intervalle de longueur d'onde [380-700 nm] avec un intervalle de $\lambda = 10 \text{ nm}$.

	Échantillons				Standard			
	Après dégorgement				Avant dégorgement			
	Épuisement				Épuisement			
	# <i>Light green2</i>	# <i>Peat green2</i>	# <i>Violet2</i>	# <i>Dark green2</i>	# <i>Light green2</i>	# <i>Peat green2</i>	# <i>Violet2</i>	# <i>Dark green2</i>
L	68.350	32.530	30.970	50.770	70.053	32.258	30.913	49.803
a	-7.550	-0.170	2.510	-9.780	-7.428	-0.193	2.560	-10.353
b	-4.850	14.430	-12.530	-1.710	-4.865	14.168	-12.373	-1.603
ΔE	1.707	0.379	0.175	1.129	0	0	0	0
A	1.0842	2.8464	1.8413	1.3022	—	—	—	—

Tableau 4.14 : Résultats du test de dégorgement pour les échantillons teints par épuisement

	Échantillons				Standard			
	Après dégorgement				Avant dégorgement			
	IR+AC				IR+AC			
	# <i>Light green2</i>	# <i>Peat green2</i>	# <i>Violet2</i>	# <i>Dark green2</i>	# <i>Light green2</i>	# <i>Peat green2</i>	# <i>Violet2</i>	# <i>Dark green2</i>
<i>L</i>	70.230	34.750	30.880	52.860	67.606	32.412	28.194	49.488
<i>a</i>	-7.260	4.970	10.250	-9.580	-7.432	4.670	8.892	-9.765
<i>b</i>	-2.930	14.630	-12.610	-5.200	-1.246	12.828	-11.142	-3.352
ΔE	3.123	2.967	3.349	3.850	0	0	0	0
<i>A</i>	2.4677	13.9999	11.8294	3.3644	—	—	—	—

Tableau 4.15 : Résultats du test de dégorgement pour les échantillons teints par IR+AC

➤ **Pour le procédé d'épuisement:**

Il n'y a pas une grande différence de couleur ΔE entre les deux échantillons avant et après le test de dégorgement. Ceci est dû aux valeurs de *L*, *a* et *b* qui n'ont pas subi une grande différence après le dégorgement.

➤ **Pour le procédé IR+AC**

D'après le Tableau 4.15 la différence de couleur est non négligeable entre les échantillons avant et après le dégorgement. Ceci est traduit par la différence des valeurs *L*, *a* et *b*.

➤ **Comparaison entre les deux procédés**

D'après les valeurs de *A* pour les deux procédés, on peut dire que les colorants réactifs fixés par le procédé IR+AC dégorgent dans l'eau+détergent que par le procédé d'épuisement. On peut dire aussi que ce test nous a confirmé l'efficacité de notre procédé pour la fixation des colorants réactifs sur le coton.

4.4.3 Test de la lumière

Ce test entraîne l'exposition des échantillons de teinture expérimentale et standard à la lumière du jour à l'arrière d'un panneau de verre durant quatre semaines. L'évaluation des échantillons après ce test a été faite par le calcul de la force de couleur qui donne la valeur intégrée de K/S pondérés par les réponses visuelles de l'observateur supplémentaire de la CIE 1964 (voir chapitre3).

Les Figures 4.12 et 4.13 présentent les résultats de ce test.

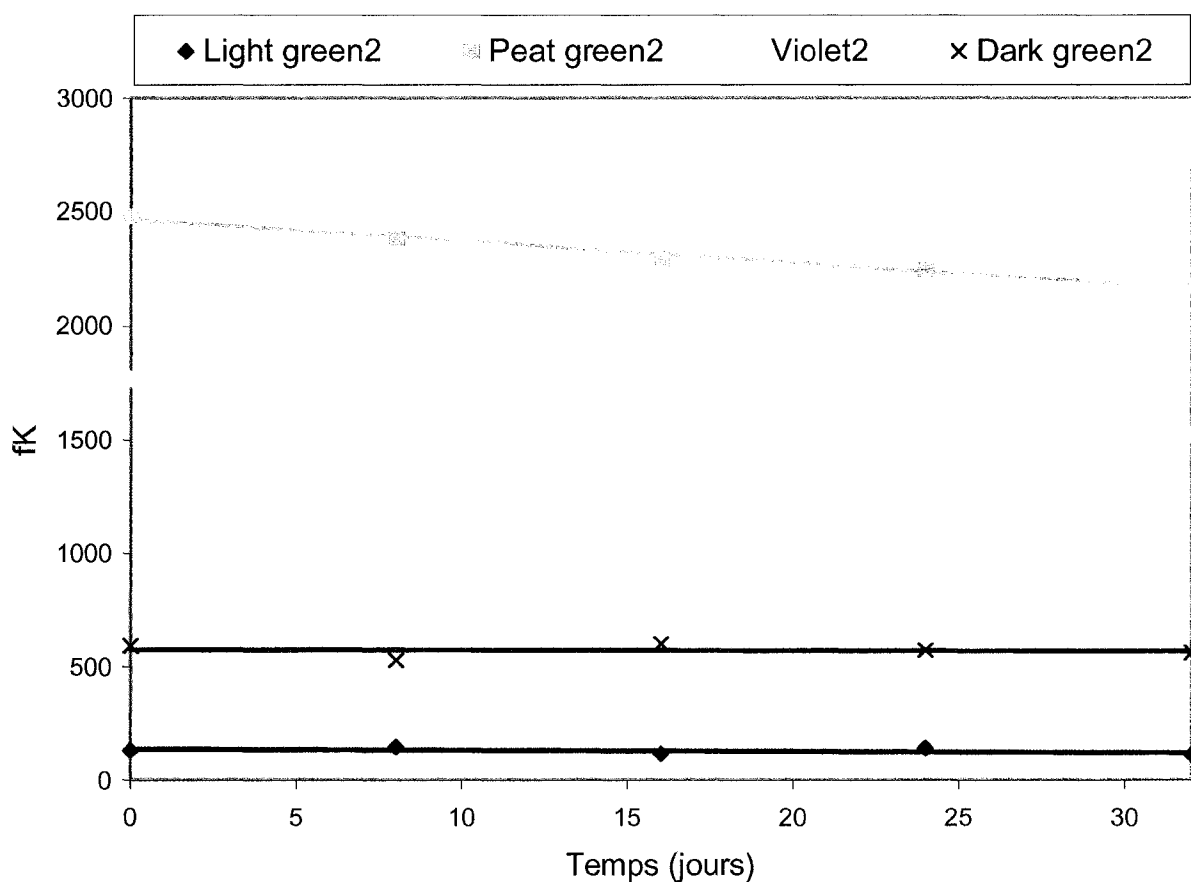


Figure 4.12 : La force de couleur en fonction du temps pour le procédé d'épuisement

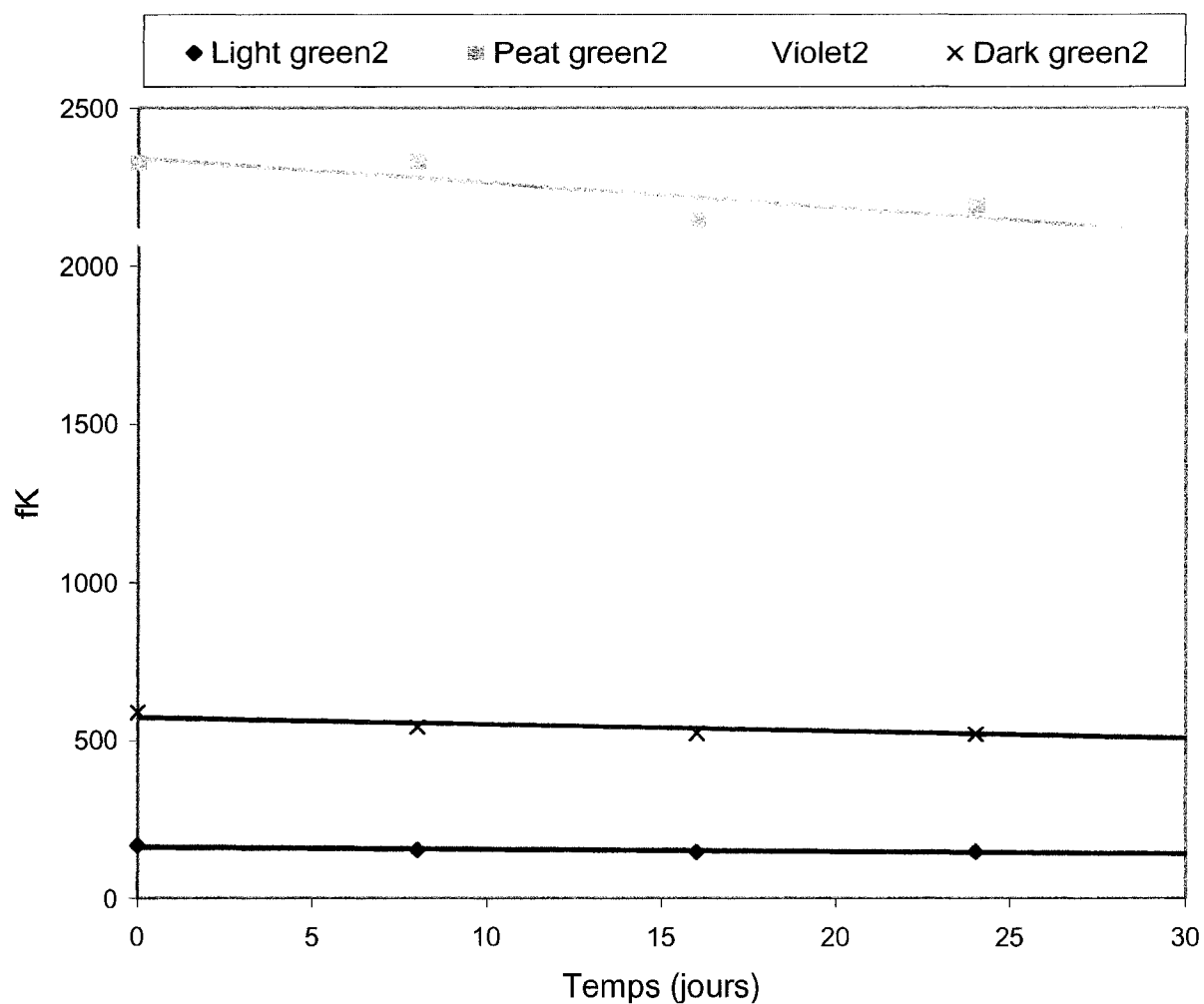


Figure 4.13 : La force de couleur en fonction du temps pour le procédé IR+AC

Le Tableau 4.16 présente des résultats plus profonds des deux dernières figures. Il donne un calcul des coefficients de regression et la pente des quatre courbes ainsi que la différence de couleur entre des échantillons, avant et après ce test.

		<i>Light green2</i>	<i>Dark green2</i>	<i>Violet2</i>	<i>Peat green2</i>
Épuisement	Coefficient de regression R^2	—	—	0.9738	0.9886
	La pente $fk / temps$	0.514	0.1867	7.9549	9.2935
	ΔE (entre avant et après le test)	1.7099	0.9482	2.4705	2.4586
IR+AC	Coefficient de regression R^2	0.7816	0.7891	0.9512	0.7962
	La pente $fk / temps$	0.6879	2.1738	9.0566	7.7034
	ΔE (entre avant et après le test)	1.9672	2.1432	2.3634	3.2023

Tableau 4.16 : Analyse plus profond du test de la lumière

➤ **Pour le procédé d'épuisement:**

Pour les deux recettes *Light green2* et *Dark green2*, la lumière du jour n'a pas eu un effet sur la force de couleur. Pour les deux autres recettes *Peat green2* et *Violet2*, la force de couleur diminue faiblement avec le temps.

➤ **Pour le procédé IR+AC**

Pour ce procédé, les quatre recettes présentent une diminution de la force de couleur en fonction du temps. Cette diminution est faible pour les deux recettes *Light green2* et *Dark green2* comparativement aux deux recettes *Peat green2* et *Violet2*.

➤ Comparaison entre les deux procédés

D'après ces résultats, on peut dire que la lumière a un effet identique sur les échantillons teints par les deux procédés à l'exception de la recette *Dark green2* qui ne présente aucun effet positif de la lumière.

4.4.4 Test du toucher

Comme déjà mentionné, ce test se fait par la main et ce pour voir si le toucher de tissu est différent entre les échantillons teints par les deux procédés. De plus, ceci nous aide à savoir si le tissu est dur ou mou. D'après ce test, on a trouvé qu'il n'y a pas de différence de toucher entre les deux échantillons teints par épuisement et IR+AC. Il ne faut surtout pas oublier que le toucher devient plus dur lorsqu'on dépasse le temps de résidence optimisé (45 s). Il commence à être dur à 50 s et plus rigide à 60 s.

4.5 Examen de la microscopie optique

4.5.1 Résultats des sections transversales

Huit échantillons ont été analysés par microscopie optique, quatre sont teints par le procédé d'épuisement alors que les autres sont teints par le procédé IR+AC. Les deux recettes *Light green2* et *Dark green2* n'ont pas donné des photos claires à cause de la faible concentration des colorants utilisées dans chacune des deux recettes. Par conséquent, les deux recettes *Peat green2* et *Violet2* ont été mises en évidence et ce pour les deux procédés, épuisement et IR+AC. Les Figures 4.14 et 4.15 montrent les résultats obtenus.

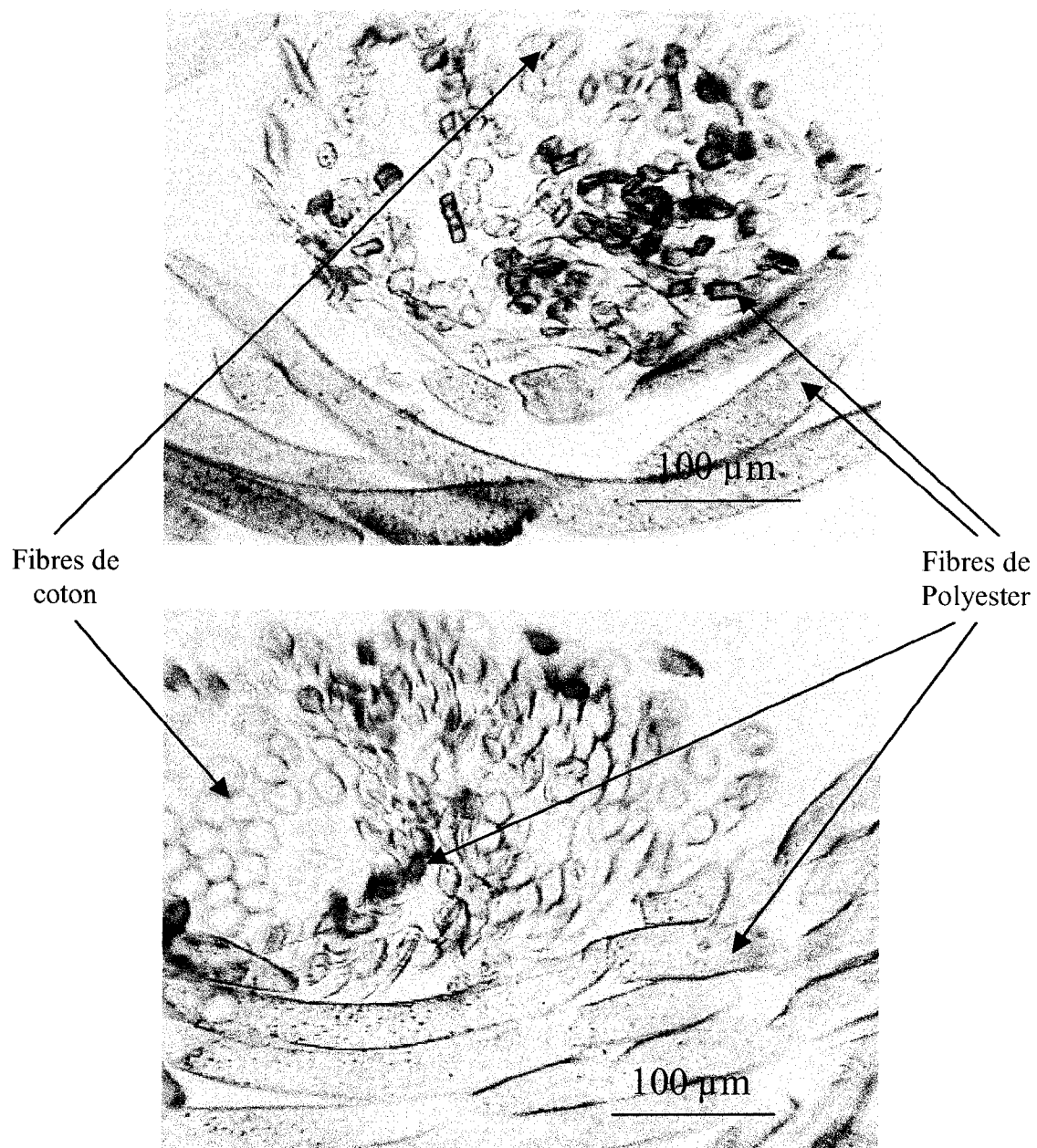


Figure 4.14 : Photos obtenues de la microscopie optique des coupes transversales des échantillons teints par épuisement et IR+AC successivement pour la recette *Violet2*

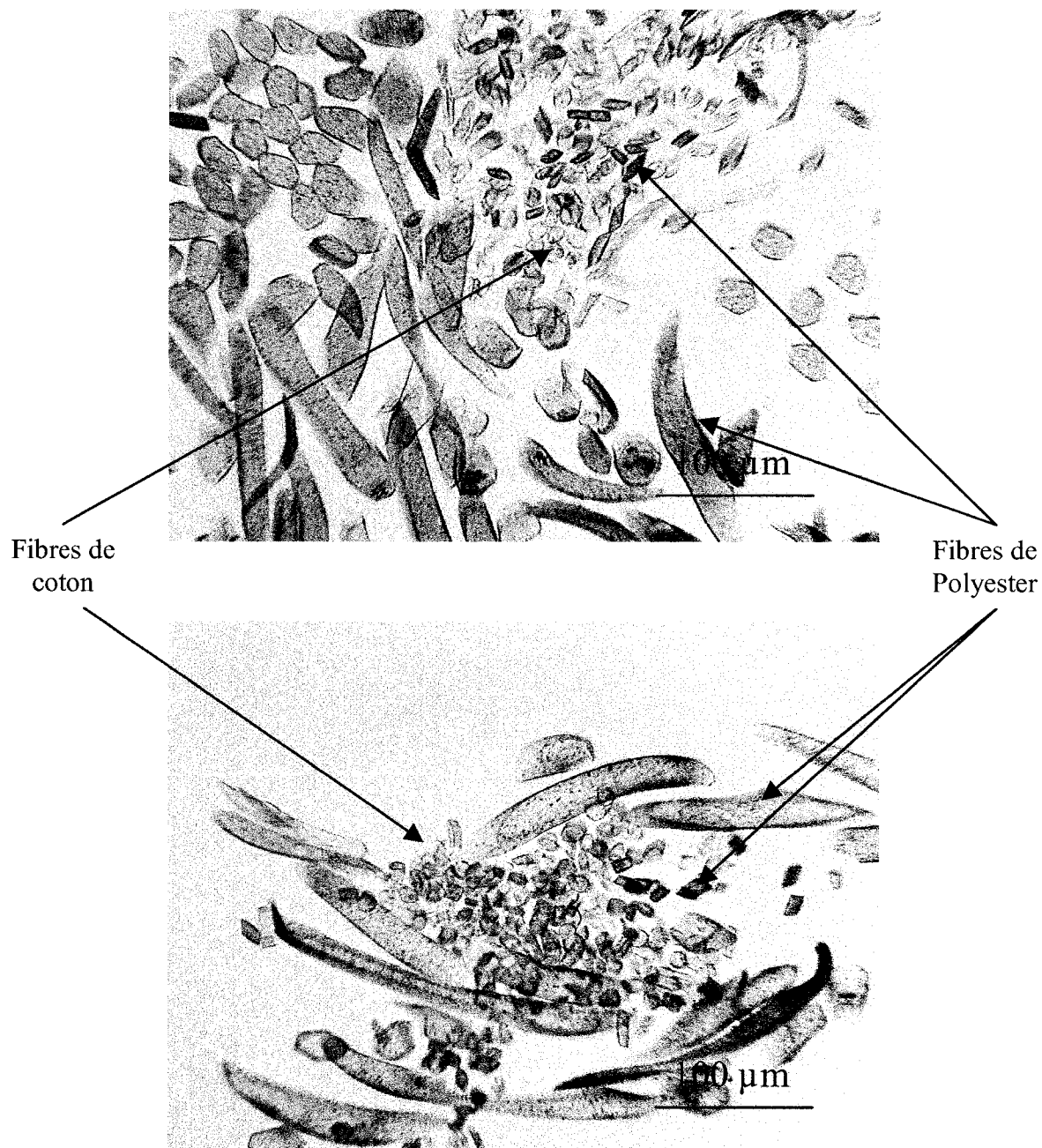


Figure 4.15 : Photos obtenues par microscopie optique des coupes transversales des échantillons teints par épuisement et IR+AC successivement pour la recette *Peat green2*

4.5.2 Discussion des résultats

Après l'examination des photos, les fibres de polyester qui sont coupées transversalement ont des formes (carré, quadrilatère etc...) alors que les fibres de coton ont des formes (ronde, ovale etc...). Ceci a été basé sur l'étude microscopique faite par Zhao sur un tissu de coton 100% [ZHAO, 1999]. Les fibres prises longitudinalement sont les fibres de polyester à 100%, car le tissu a été coupé à travers la trame qui divise le tissu en deux côtés, une où il y a 100% de fibre de polyester alors que l'autre côté est constitué de 50/50% de coton/polyester. D'après les photos ci-dessus, on voit des points sur les fibres de polyester et de façon moins forte sur les fibres de coton. Ces points représentent des pigments attachés sur les fibres et ils sont plus uniformes sur les fibres de polyester. Pour les échantillons teints par le procédé IR+AC, nous avons arrivé à la coloration désirée comparativement au procédé d'épuisement. Par exemple pour la recette *violet2*, nous remarquons que nous avons arrivé à la couleur violette par le procédé IR+AC tandis que le procédé d'épuisement a donné une coloration bleue. La même chose peut être dite pour la recette *Peat green2*, le procédé IR+AC a produit une coloration *peat green* alors que le procédé d'épuisement a produit une coloration plutôt verte. Ceci n'empêche de dire que le procédé d'épuisement donne des colorations beaucoup plus uniforme. Il faut surtout souligné aussi que ce test n'a montré aucune migration des colorants dispersés sur la surface des fibres de polyester.

4.6 Conclusions

Après le changement du colorant bleu, les conclusions citées dans le paragraphe 4.2.6 n'ont pas été changées à l'exception que la valeur de ΔE (les échantillons colorés par épuisement sont pris comme standard) qui est devenue plus petite que celle trouvée par les anciennes recettes et surtout pour la recette *Dark green2*. Nous avons pu conclure qu'il n'y a pas une grande différence visuelle de couleur entre les échantillons teints par IR+AC et ceux teints par épuisement.

Pour les résultats trouvés par les tests qualitatifs, on peut dire que:

a) Test de dégorgement

Les échantillons teints par le procédé IR+AC dégorgent plus que les échantillons teints par épuisement. Ceci est une conséquence du procédé d'épuisement qui nécessite un lavage sévère des échantillons après la teinture. Malgré le dégorgement des échantillons teints par IR+AC, la coloration a resté impeccable et plus foncée.

b) Test d'acétone

Ce test a montré presque la même chose que le test de dégorgement mais de façon légère.

c) Test de lumière

Les échantillons teints par les deux procédés subissent le même effet de la lumière. On peut dire aussi que la lumière n'a pas un grand effet sur ces échantillons.

d) Test de toucher

Le toucher des deux tissus teints par les deux procédés est le même.

On peut ajouter aussi les remarques suivantes:

e) L'agent anti-migrant (alginate de sodium)

- Il empêche la migration des colorants dispersés sur la surface de tissu pendant la période initiale de séchage dans le four infrarouge.
- Il permet une coloration uniforme sur les deux faces de tissu.
- Il précipite le colorant bleu *Trisetile Blue FBLN 300%*
- Il est compatible avec le colorant bleu *Trisetile Blue RBL 100%*

f) Le procédé IR+AC:

- Il fonctionne encore très bien
- Il donne des échantillons avec une coloration très proche visuellement par rapport à ceux trouvés par épuisement.
- Il donne numériquement des courbes de K/S en fonction de la longueur d'onde de même allure comparable au procédé d'épuisement et ce pour les quatre recettes
- Il est prêt pour les essais en continue.

5. LES ESSAIS EN CONTINUE

Les essais en continue ont été effectués en gardant les mêmes paramètres déjà optimisés et avec les mêmes recettes déjà mentionnées dans la Section 4.3.

Pour les conditions opératoires nous avons gardé les mêmes que ceux utilisées dans les parties 4.2 et 4.3. La rétention du tissu a été diminuée à la valeur 50% à cause du changement de tissu par notre partenaire qui nous a fourni un tissu blanchi non-lavé qui est par conséquent moins absorbant.

Le Tableau 5.1 présente les conditions opératoires utilisées dans les essais en continue :

Paramètres	Valeurs
Rétention du tissu	50% (H ₂ O)
Température de l'étuve à air chaud	210°C
Pression des rouleaux de Pad	10 kPa/cm
Température de tissu à la sortie du four infrarouge	Autour de 100°C
Voltage du four infrarouge	400 V
Vitesse de défilement du tissu	3.0 m/min
Temps de résidence dans l'étuve à air chaud	45 s
Température de tissu à la sortie de l'étuve à air chaud	180°C

Tableau 5.1 : Conditions opératoires utilisées au laboratoire pour les essais en continue

5.1 Résultats

Le calcul de la différence de couleur ΔE et le rendement de fixation Rdt pour les quatre recettes, l'échantillon #1 (le premier échantillon prélevé au début de l'opération de teinture en continue) a été utilisé comme standard et ce pour voir l'uniformité de la couleur sur tout le tissu teint.

Le calcul de la force de couleur fK permet de voir la contribution des variations de la rétention des colorants par le tissu aux valeurs du rendement de fixation.

Les résultats suivants sont en terme de différence de couleur, de rendement de fixation et de force de couleur en fonction du temps d'opération.

5.1.1 Light Green2

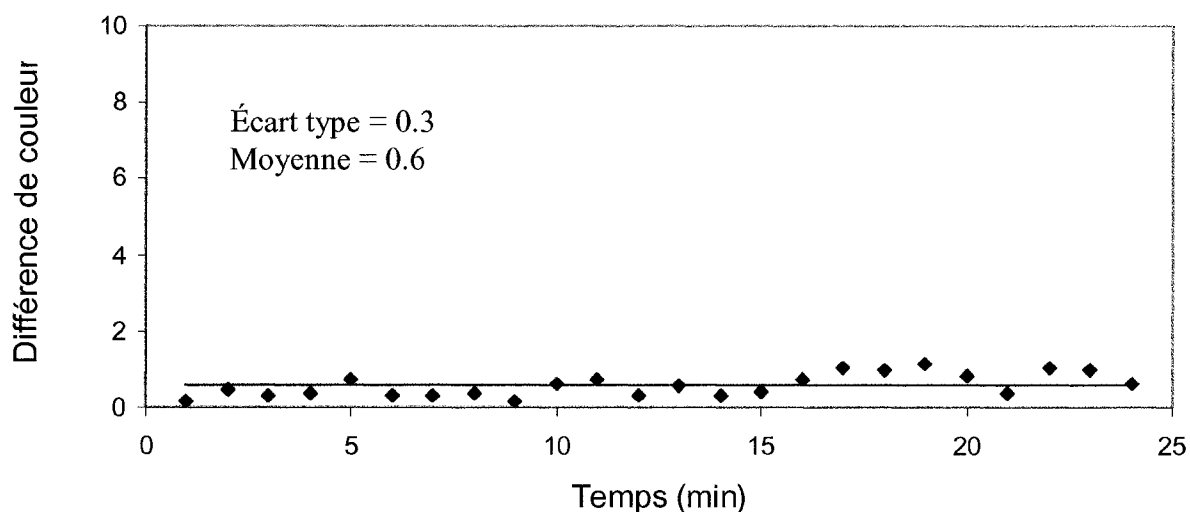


Figure 5.1 : Courbe de variation de différence de couleur en fonction du temps (*Light Green2*)

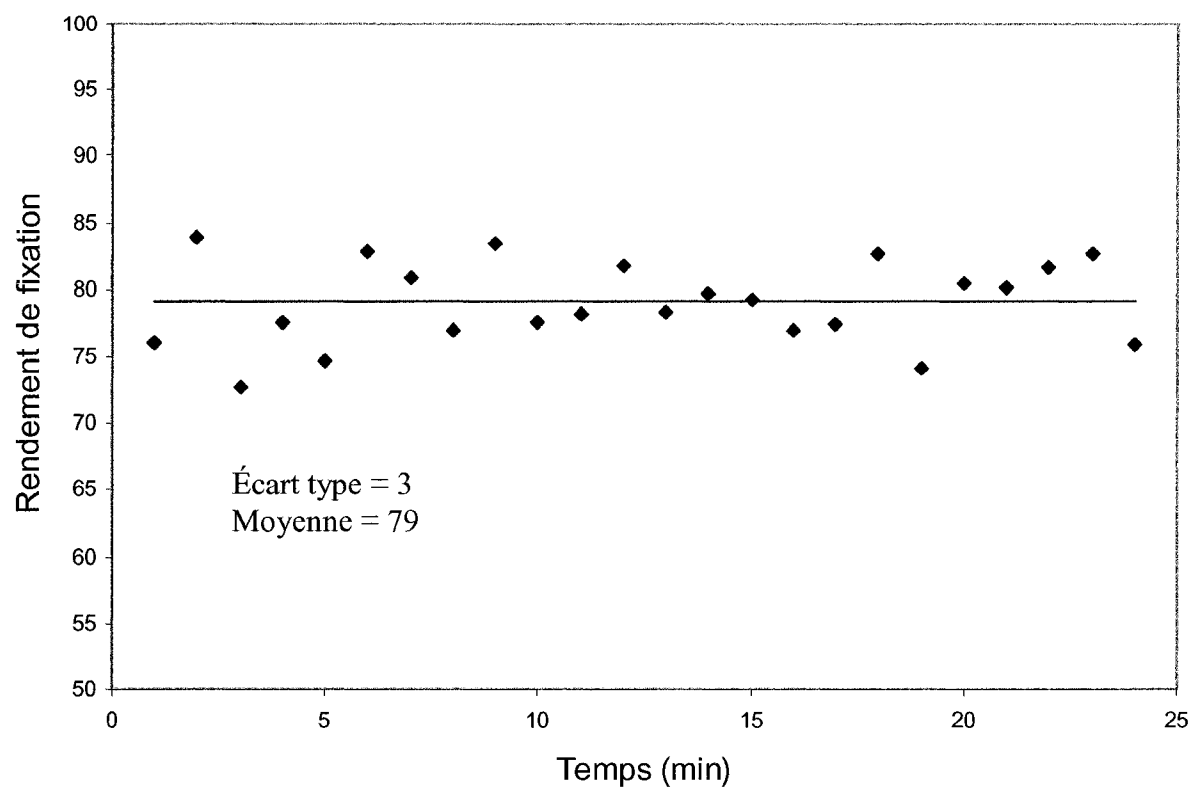


Figure 5.2 : Courbe de variation du rendement de fixation en fonction du temps
(*Light Green2*)

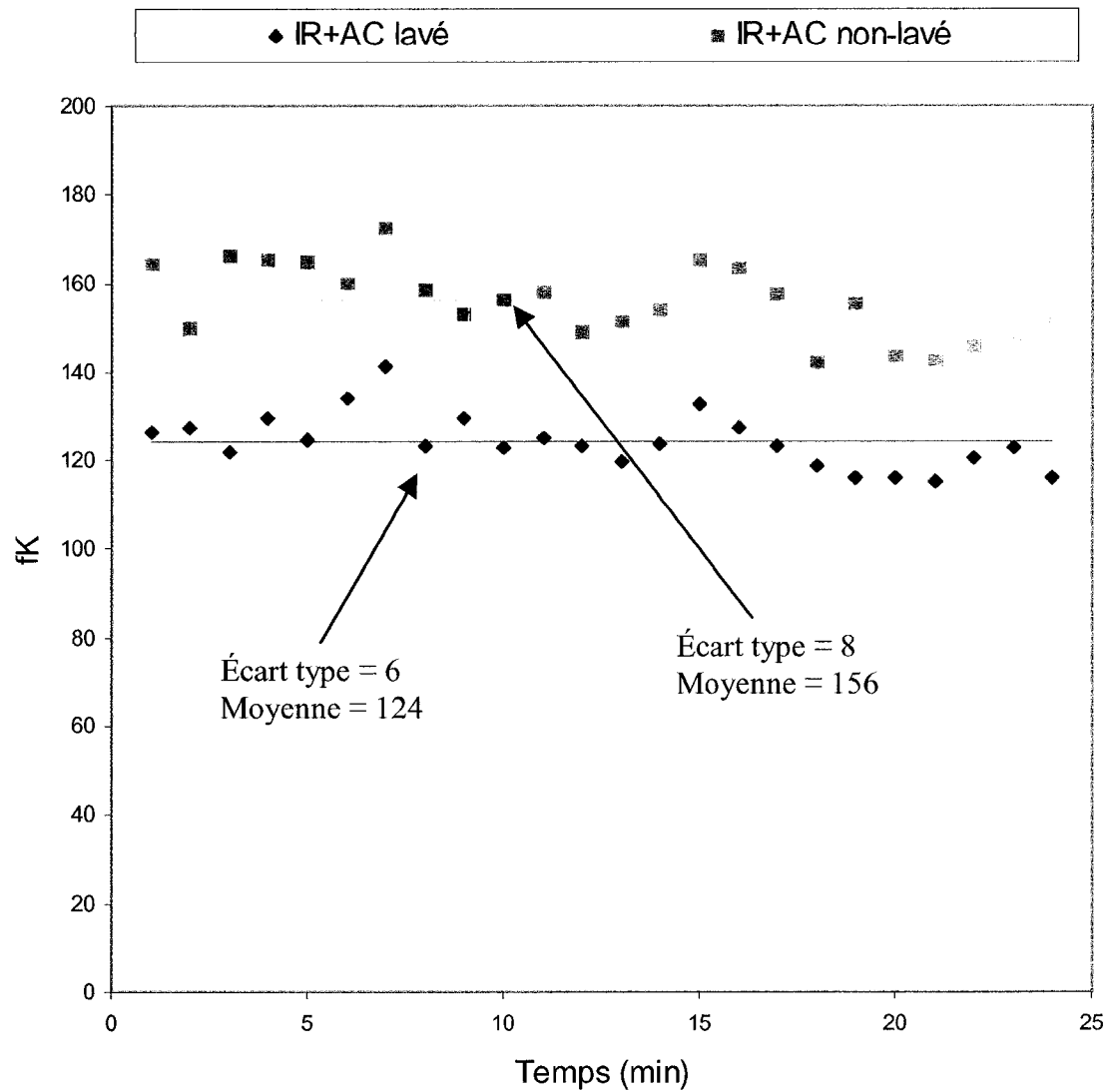


Figure 5.3 : Courbe de variation du fK en fonction du temps (*Light Green2*)

5.1.2 *Dark Green2*

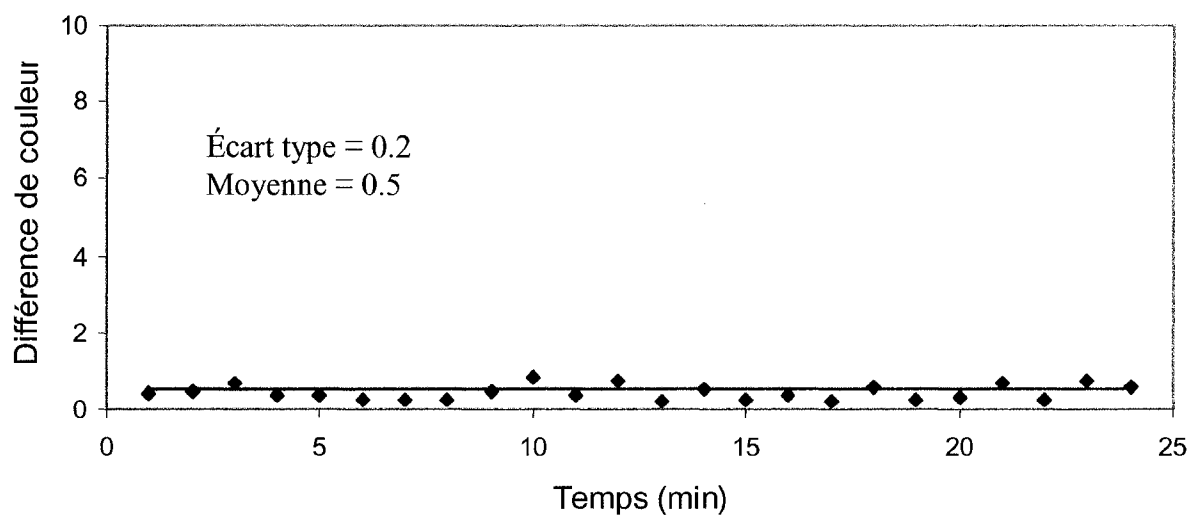


Figure 5.4 : Courbe de variation de différence de couleur en fonction du temps (*Dark Green2*)

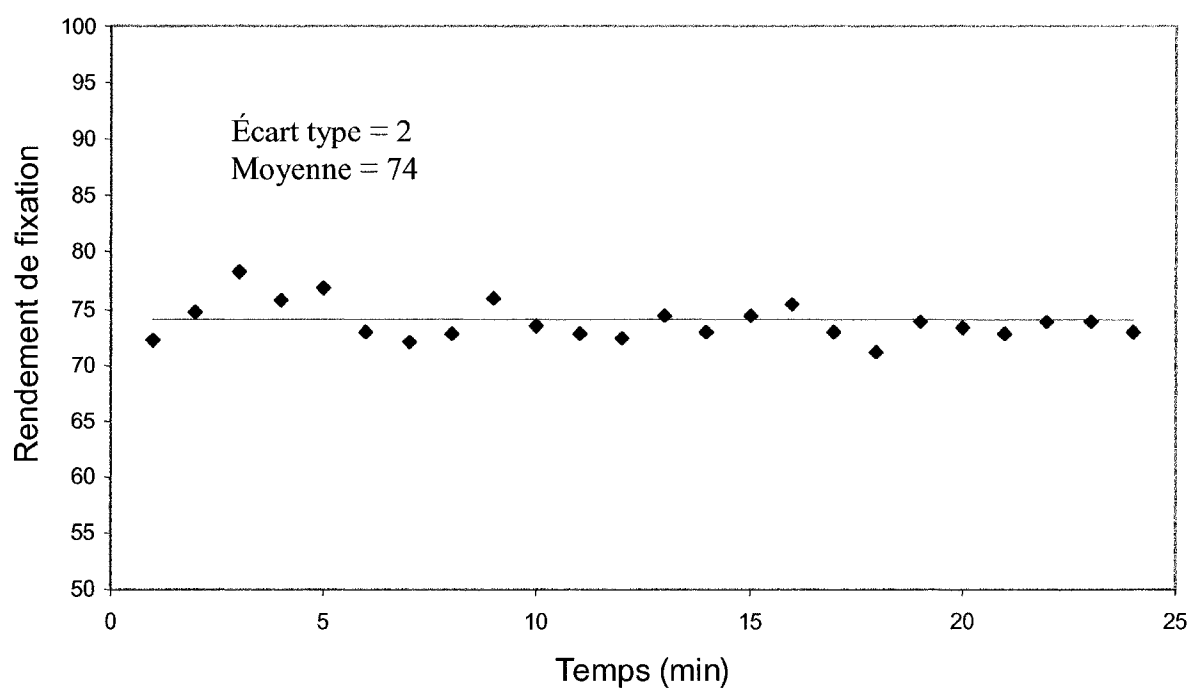


Figure 5.5 : Courbe de variation du rendement de fixation en fonction du temps (*Dark Green2*)

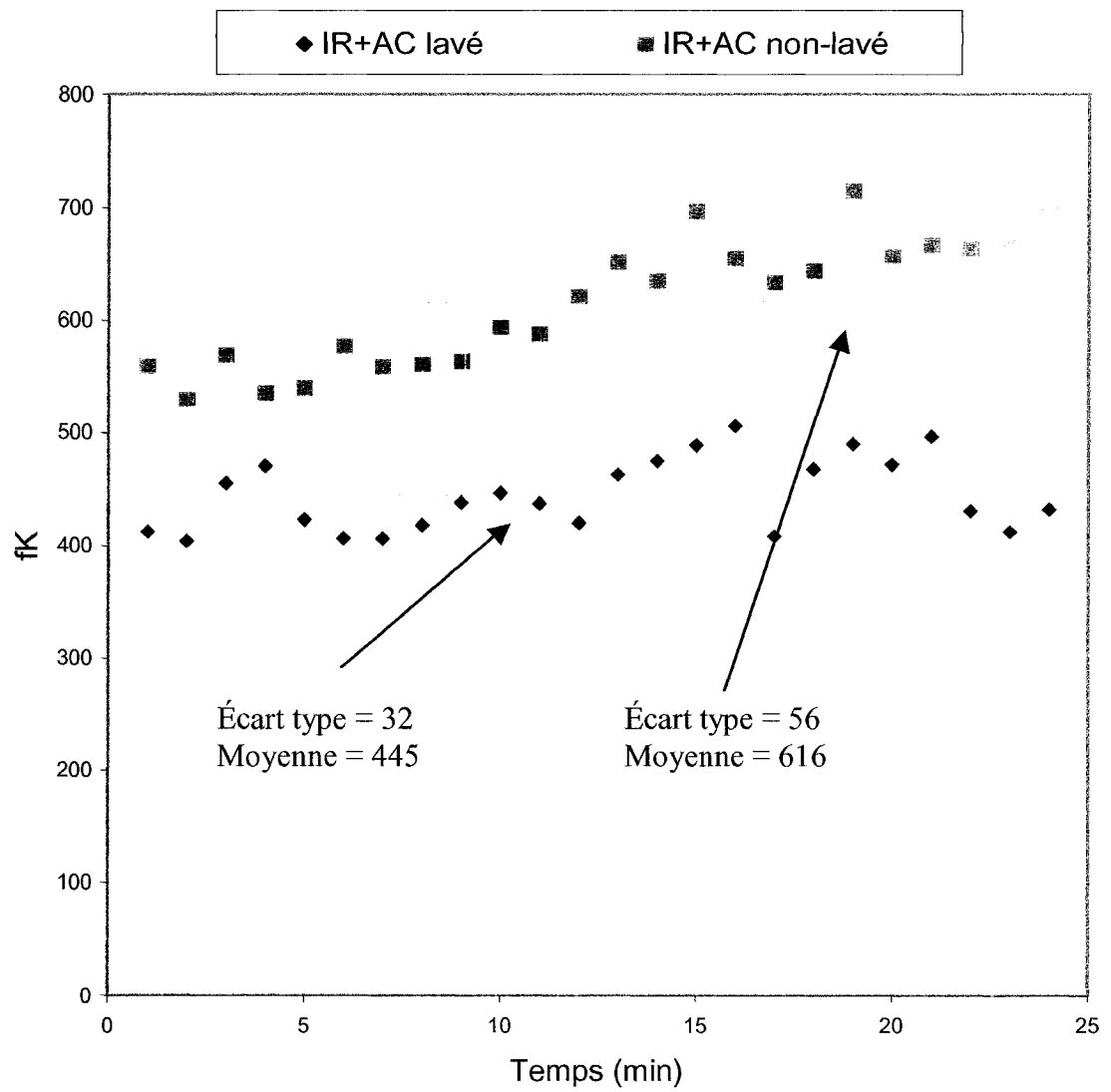


Figure 5.6 : Courbe de variation du fK en fonction du temps (*Dark Green2*)

5.1.3 *Peat Green2*

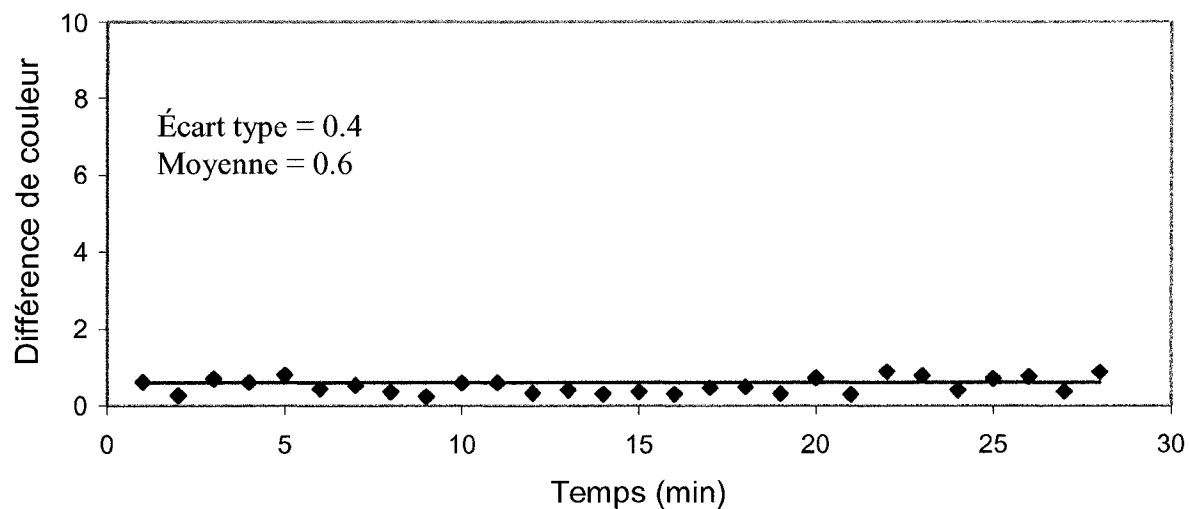


Figure 5.7 : Courbe de variation de différence de couleur en fonction du temps (*Peat Green2*)

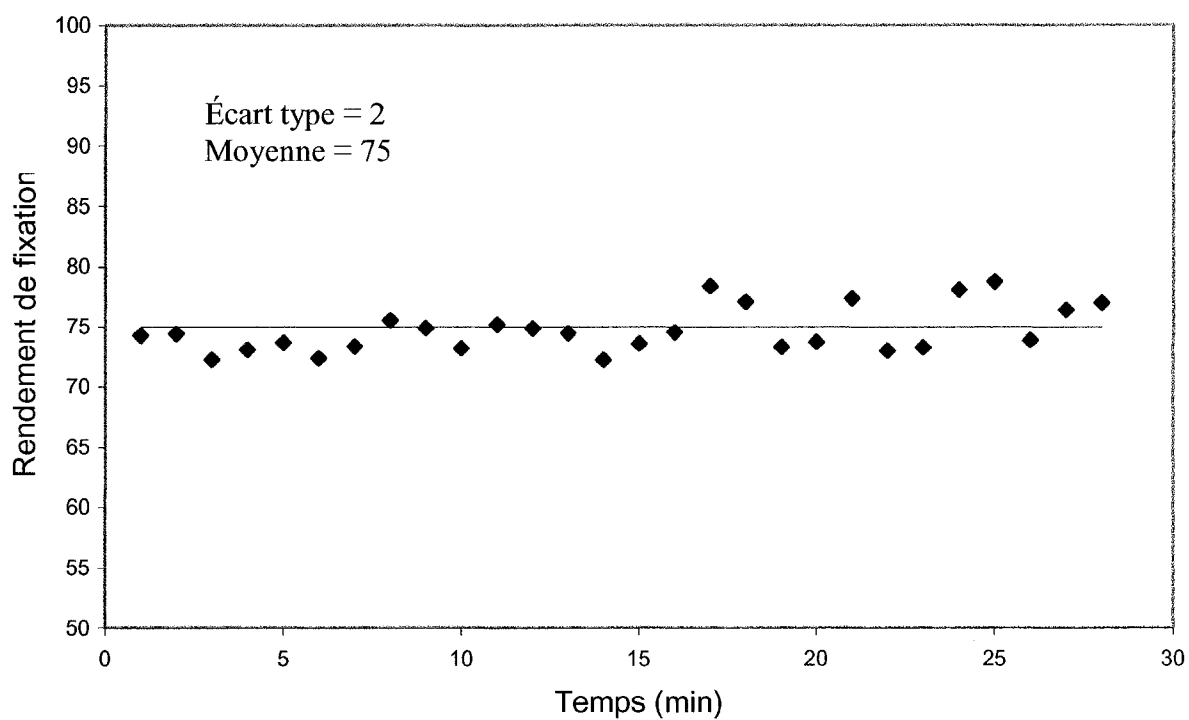


Figure 5.8 : Courbe de variation du rendement de fixation en fonction du temps (*Peat Green2*)

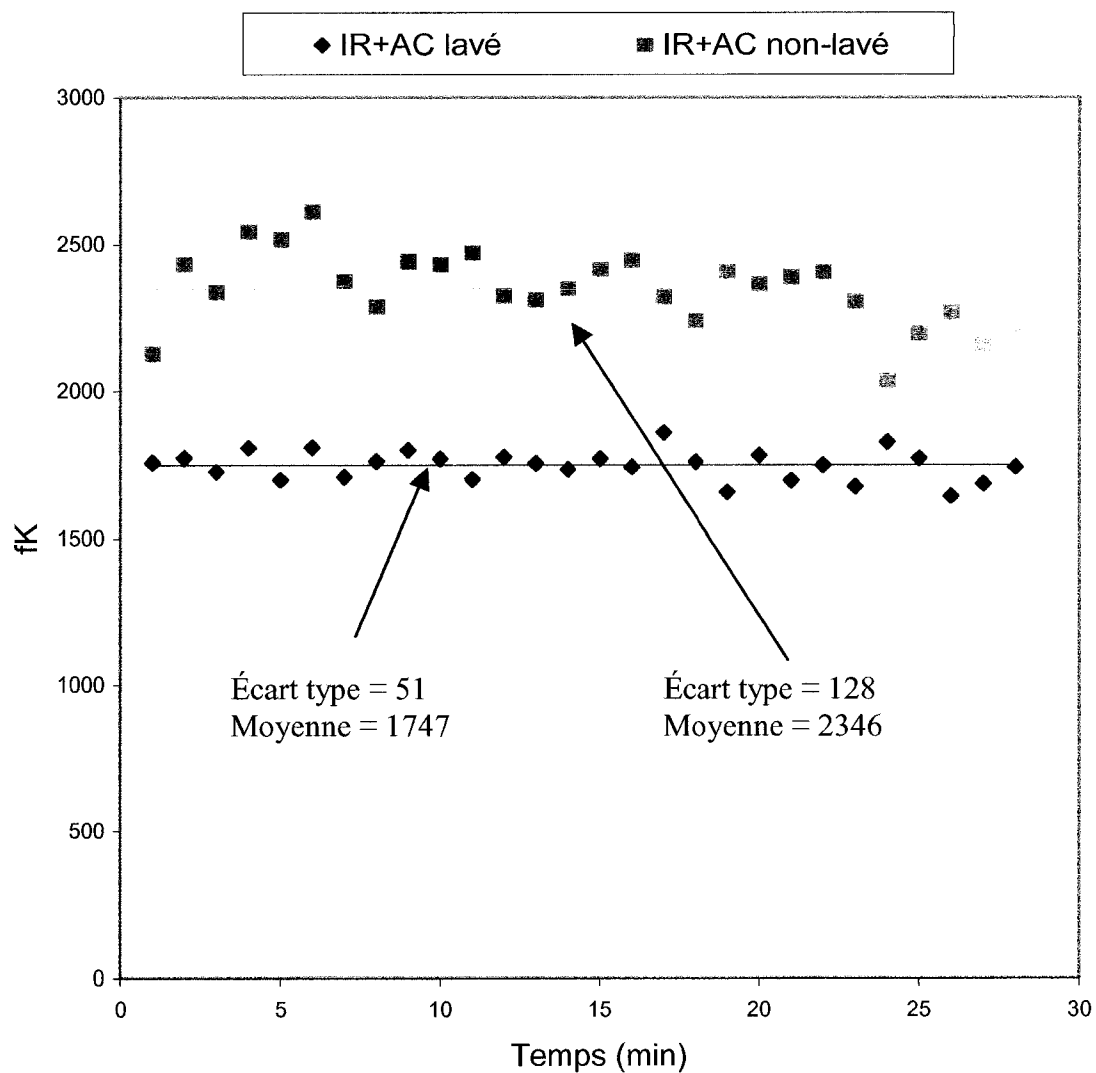


Figure 5.9 : Courbe de variation fK de fixation en fonction du temps
(*Peat Green2*)

5.1.4 Violet2

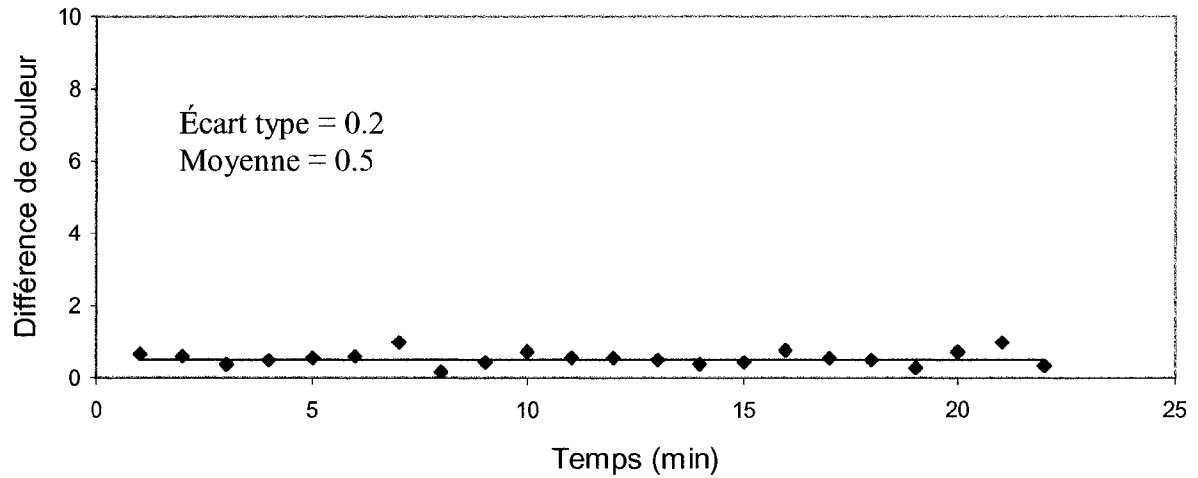


Figure 5.10 : Courbe de variation de différence de couleur en fonction du temps (Violet2)

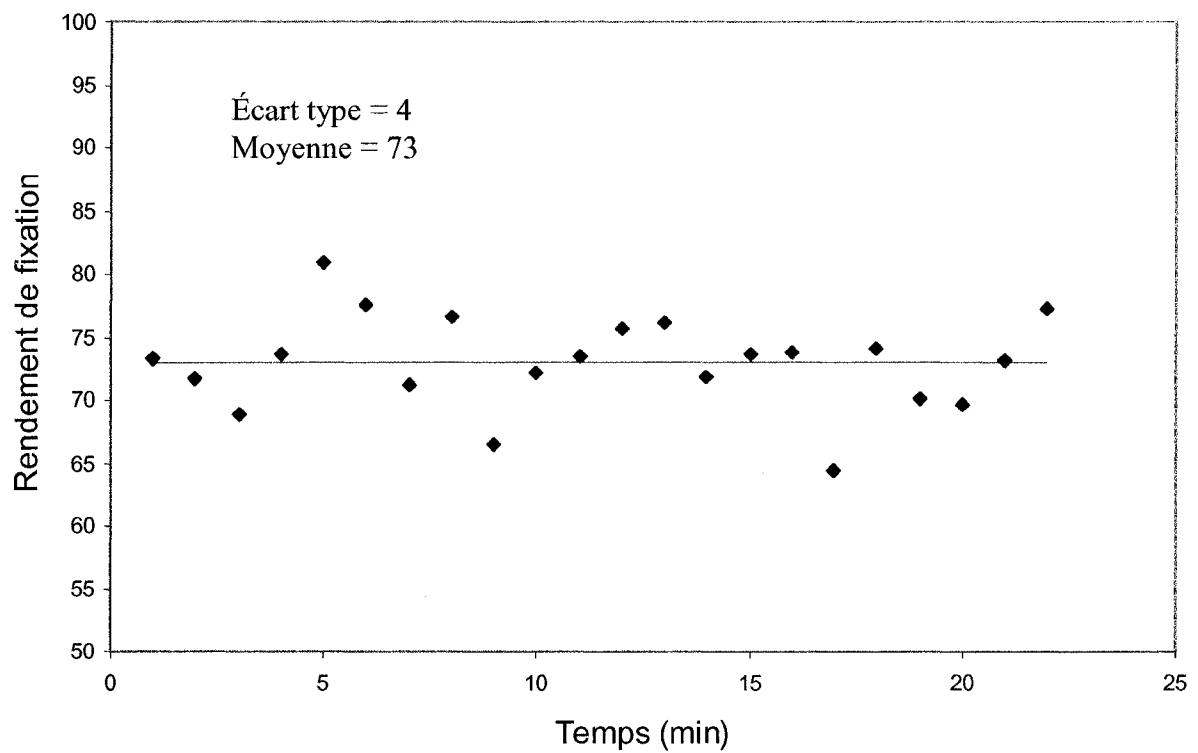


Figure 5.11 : Courbe de variation du rendement de fixation en fonction du temps (Violet2)

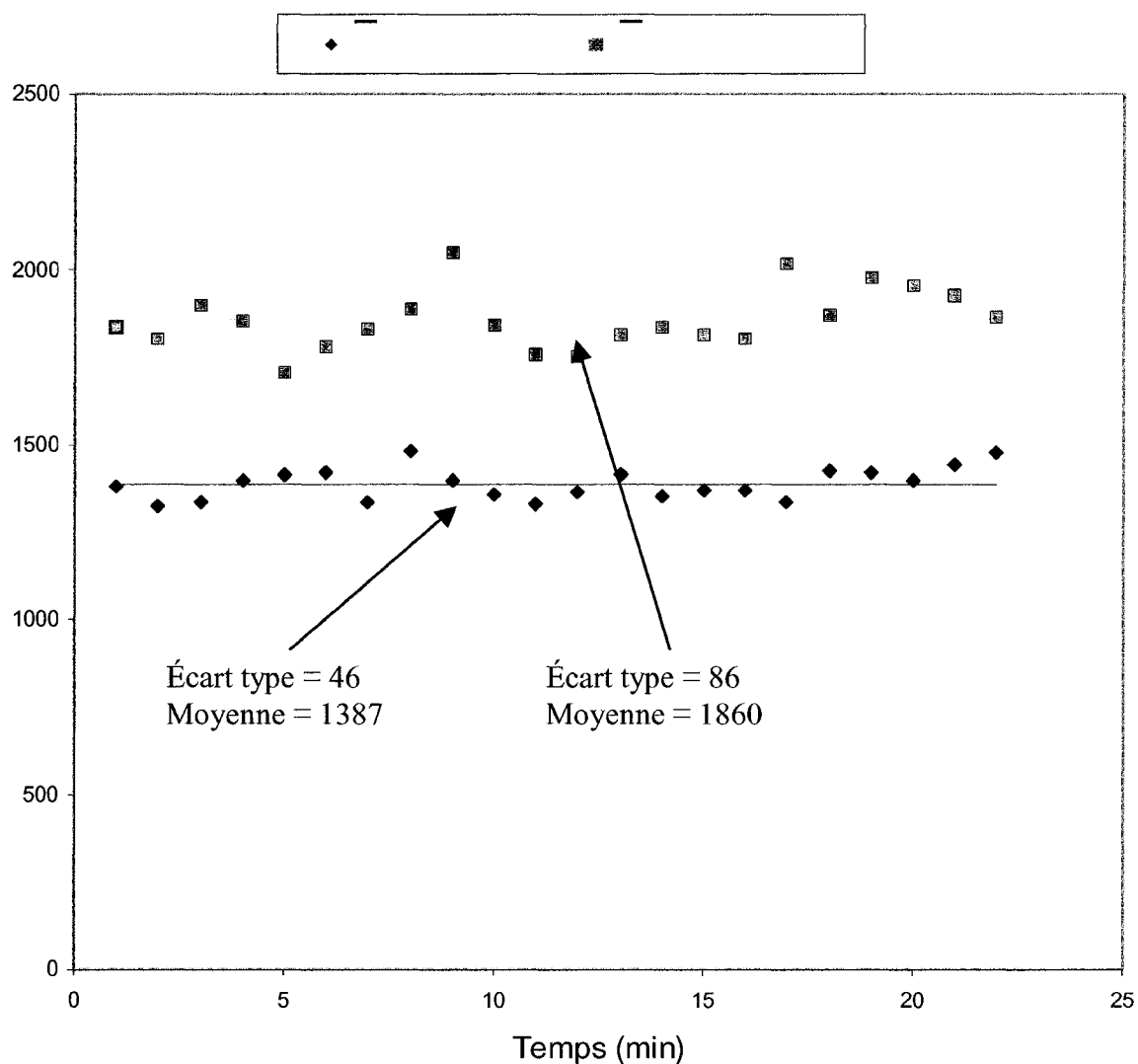


Figure 5.12 : Courbe de variation du fK en fonction du temps (*Violet2*)

Il semble que fK et le rendement de fixation pour les quatre recettes (*Light green2*, *Dark green2*, *Peat green2* et *Violet2*) varient beaucoup en fonction du temps, ceci est dû à la non uniformité et à la variation des trois paramètres suivants:

- La texture de tissu
- La pression de pad
- La rétention de tissu

De plus, il faut noter que ces variations sont exagérées par l'échelle utilisée (les écarts types sont trop faibles)

5.1.5 Comparaison entre les essais en continue et ceux en batch

Cette comparaison a été faite en calculant les valeurs moyennes de L , a et b des échantillons colorés en continue et les valeurs L , a et b de notre échantillon coloré en batch (essai fait par des échantillons sur le leader, voir le Chapitre 4). Les différences de couleur, de clarté, de teinte et de chroma ont été aussi évaluées. Les résultats de cette comparaison sont résumés dans le tableau 5.2 (on a pris comme standard l'échantillon coloré en batch).

Paramètres	Light Green2	Dark Green2	Peat Green2	Violet2
ΔL	4.11	5.85	5.72	4.17
Δa	0.12	0.50	0.45	-0.06
Δb	2.61	4.90	0.24	1.08
ΔE	4.87	7.64	5.74	4.30
ΔC	-0.10	-0.93	0.10	1.00
ΔH	2.61	4.83	0.51	0.41

Tableau 5.2 : Comparaison entre les essais en continue et ceux en batch pour des quatre recettes (IR+AC)

Pour le tableau ci-dessus, on a pris pour standard les échantillons colorés en batch (petit morceaux) par IR+AC (voir chapitre 4).

Le Tableau 5.2 montre les points suivants:

- Il n'y a pas de différence de chroma ΔC ni de a (rouge-vert) entre les échantillons faits en batch et ceux en continue pour les quatre recettes.
- Il n'y a pas de différence de teinte ΔH ni de b (Jaune-bleu) entre les deux procédés et ce pour les deux recettes *Peat Green2* et *Violet2*.

- Il y a une petite différence de teint ΔH et de b (Jaune-bleu) entre les deux procédés et ce pour les deux recettes *Light Green2* et *Dark green2*.
- Il y a une petite différence de couleur ΔE entre les deux procédés et ce pour les quatre recettes qui est due essentiellement à la différence de clarté L et à la non uniformité de la rétention.

Les différences de clarté L et de b aperçues dans notre tableau peuvent être expliquées par une ou les trois points suivants:

- La différence de rétention d'eau par le tissu utilisé (72% pour les essais optimisés et 50% pour les essais en continue). Cette différence provoque une différence d'adsorption du colorant par le tissu.
- La non-uniformité de la pression des rouleaux de Pad sur le tissu ce qui provoque une différence d'absorbance du colorant par le tissu.
- La non-uniformité de la température de tissu à l'intérieur du four infrarouge qui est une conséquence de la non-stabilité de la pression des rouleaux d'entraînement.

Ces deux problèmes sont produits juste dans les essais en continue et on était incapable de leur résoudre par notre petit équipement mais ils peuvent être résolus facilement par notre partenaire industriel qui possède des équipements assez sophistiqués.

D'après cette étude, malgré la différence de couleur ΔE qui est due aux différences de clarté L et de b , nous avons arrivé à reproduire de façon continue notre coloration.

Pour la différence de couleur visuelle, nous n'avons pas remarqué une grande différence de couleur visible. De plus, le toucher est assez bon.

5.2 Conclusion et discussion

Les conclusions de la partie 4.5 ont resté les mêmes pour les essais en continue. D'après l'examen visuel, il y a une uniformité de la couleur partout sur la nappe colorée. Ceci est confirmé par les résultats présentés au Tableau 5.3 qui démontrent une faible différence de couleur et une constance du rendement de couleur partout dans la nappe de tissu coloré (les écarts types sont négligeables). Donc, nos essais en continue ont bien réussi et il y a une bonne uniformité de la couleur sur tout le tissu coloré par notre procédé IR+AC. De plus, le rendement de fixation est acceptable pour les quatre recettes. La cause des valeurs d'écart type, pour le

rendement de fixation et la différence de couleur, est la non-uniformité des textures de notre tissu qui provoque une certaine différence d'adsorption des colorants par le tissu.

Ceci est accentué aussi par la mesure du rendement de fixation qui dépend de deux mesures des spectres d'adsorption (K/S en fonction de la longueur d'onde pour les échantillons lavés et non lavés) ce qui augmente l'erreur du résultat. Le calcul de fK (pour les échantillons lavés et non-lavés) confirme ces observations, c'est à dire, les valeurs des écarts types pour les échantillons non-lavés présentent des valeurs très grandes par rapport aux échantillons lavés. Les tests de qualité seront abordés dans le sixième chapitre. Le Tableau 5.3 présente une récapitulation des résultats trouvés par les essais en continue.

		<i>Light Green2</i>	<i>Dark Green2</i>	<i>Peat Green2</i>	<i>Violet2</i>
ΔE	Écart type	0.3	0.2	0.4	0.2
	Moyenne	0.6	0.5	0.6	0.5
Rendement de fixation <i>Rdt</i>	Écart type	3	2	2	4
	Moyenne	79	74	75	73
fK (Lavé)	Écart type	6.3	32	51	46
	Moyenne	124	445	1746.6	1388
fK (Non lavé)	Écart type	8	56	128	86
	Moyenne	156	616	2346	1860

Tableau 5.3 : Les valeurs de l'écart type et la moyenne pour ΔE , Rdt et fK des quatre recettes (IR+AC)

Dans le tableau ci-dessus, le premier échantillon qui est coloré au début de l'essai a été utilisé comme standard.

6. LES ESSAIS À L'ÉCHELLE INDUSTRIELLE

6.1 Résultats trouvés

L'analyse des résultats a été faite de la même façon que les essais réalisés en continue au laboratoire et ce en calculant la différence de couleur ΔE , le rendement de fixation Rdt et la force de couleur fK .

Les recettes utilisées à l'usine sont *Peat Green2*, *Dark Green2* et *Violet2*. Pour ces trois recettes, l'échantillon #1 (le premier échantillon prélevé au début de l'opération de teinture en continue) a été utilisé comme standard.

Dans ce chapitre, toutes les expérimentations ont été menées en collaboration avec les gens de l'usine de Consoltex.

Les résultats de ces essais sont comme suit:

6.1.1 *Peat Green2*

Cette expérience a été la première à faire à l'usine. Les paramètres utilisés dans cette expérience sont illustrés dans le Tableau 6.1.

La raison pour laquelle la vitesse a été variée c'est pour garder une température constante (autour de 100°C) du tissu à la sortie du four infrarouge.

D'après ce tableau, la rétention est 39% qui est relativement faible. Cette valeur est une conséquence de la haute pression des rouleaux de Pad.

Dans les deux prochains essais, ce problème qui est considéré comme clé a été résolu en diminuant la pression des rouleaux de Pad.

Durant cet essai trois émetteurs ont été fermés et ce pour avoir une température de tissu à la sortie du four infrarouge autour de 100°C.

Paramètres	Valeurs		
Rétention	39%		
Température de l'étuve à AC	210°C		
Nombre d'émetteur fermé	3 émetteurs		
Pression des rouleaux de Pad	40 psi		
Température de tissu à la sortie du four IR	Gauche 80°C	Centre 100°C	Droite 120°C
Température de tissu à la sortie de l'étuve à AC	Pratiquement constante (180°C)		
Vitesse de tissu	Entre 20 et 27 m/min		

Tableau 6.1 : Conditions opératoires utilisées à l'usine (*Peat Green2*)

Pour les températures enregistrées, elles sont les mêmes que celles obtenues au laboratoire à l'exception de la température élevée de tissu à droite de la sortie du four infrarouge qui a une valeur de 120°C.

D'après les résultats, cette température n'avait pas d'effet sur la différence de couleur ΔE ni sur le rendement de fixation Rdt .

Étant donné qu'il fallait varier la vitesse de tissu entre 20 et 27 m/min pour avoir une température de tissu de 100°C à la sortie du four infrarouge, les courbes ΔE , Rdt et fK ont été tracées en fonction de la longueur de tissu. Les trois courbes suivantes présentent les résultats ainsi trouvés.

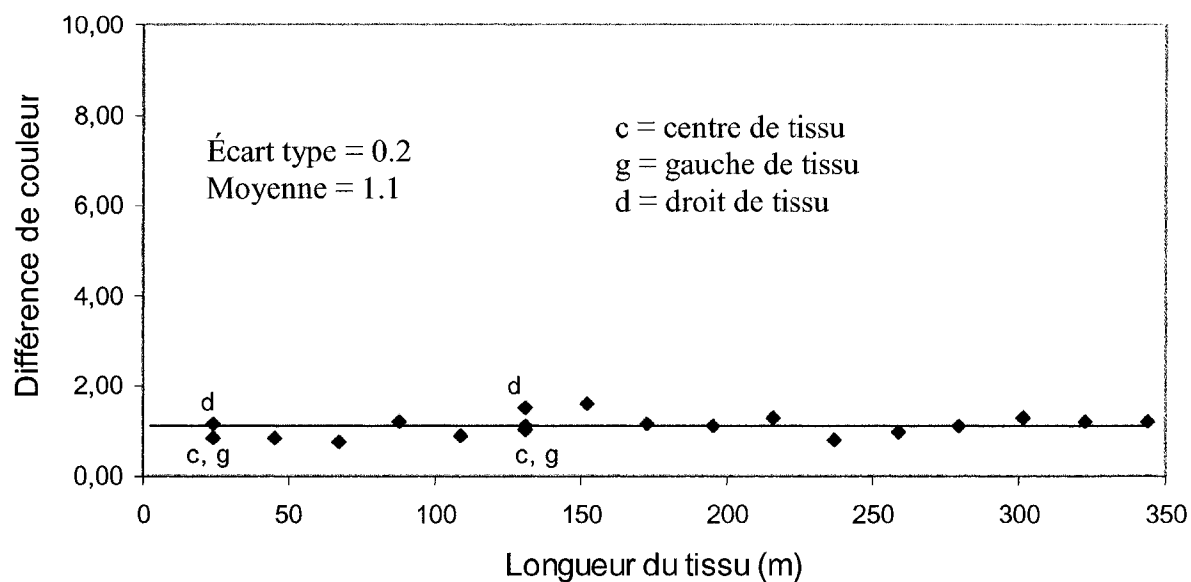


Figure 6.1 : Courbe de variation de différence de couleur en fonction de la longueur de tissu (*Peat Green2* usine).

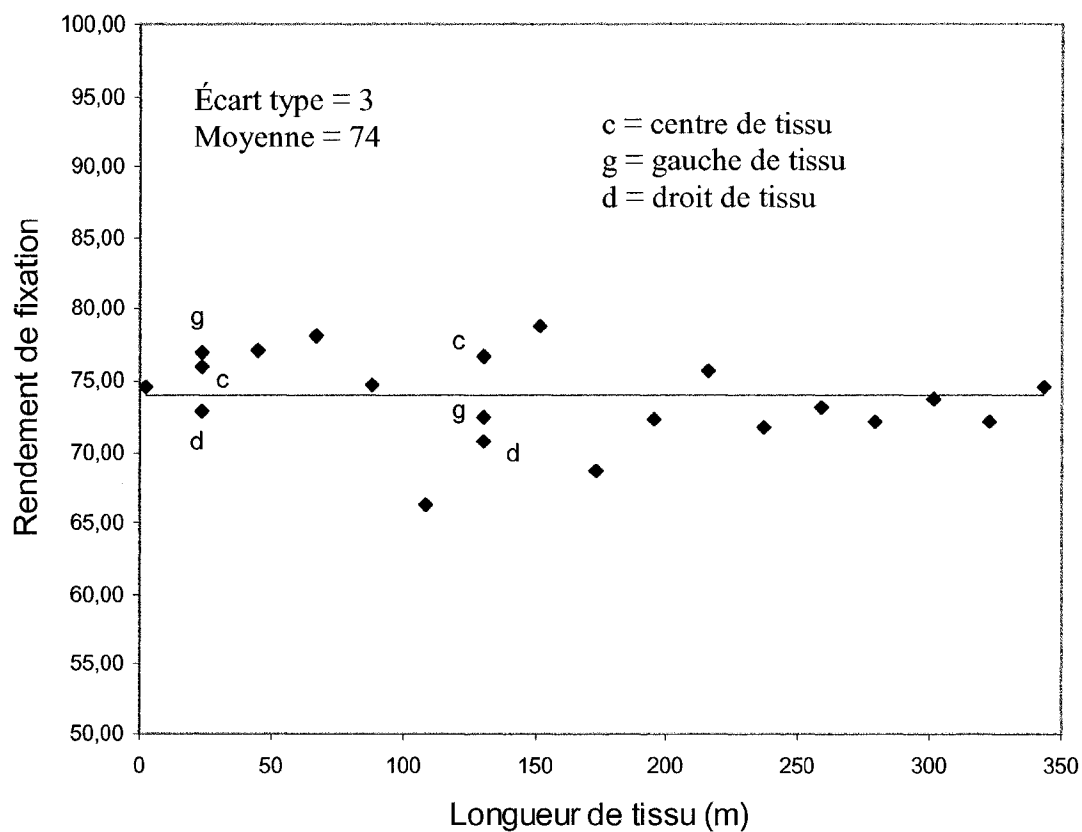


Figure 6.2 : Courbe de variation du rendement de fixation en fonction de la longueur de tissu (*Peat Green2* usine)

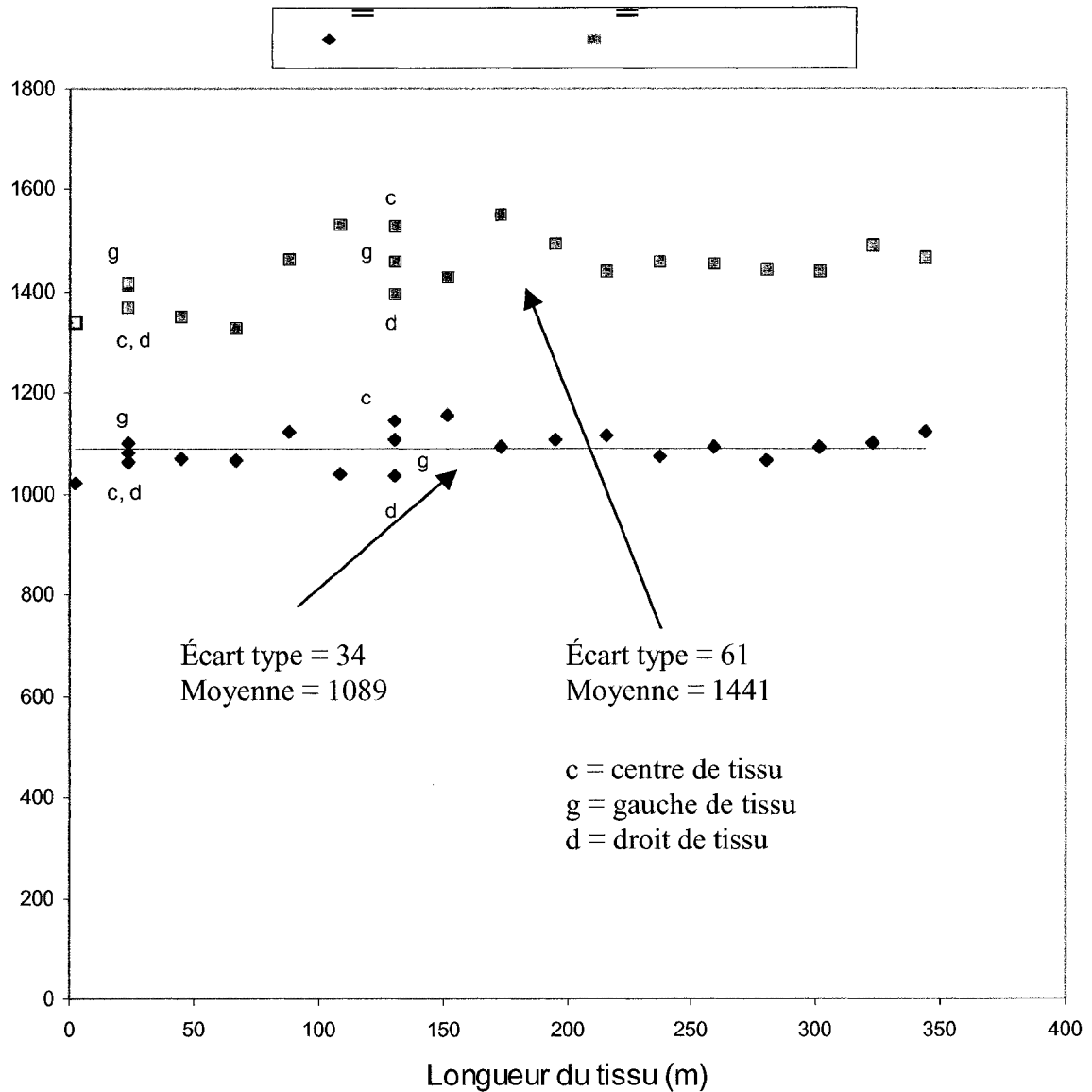


Figure 6.3 : Variation du fK en fonction de la longueur de tissu (*Peat Green2* usine)

6.1.2 *Dark Green2*

Après la diminution de la pression des rouleaux de pad la rétention a augmenté à une valeur acceptable. Les conditions opératoires utilisées pour la recette *Dark Green2* sont présentées dans le Tableau 4.10.

Paramètres		Valeurs		
Rétention		63.8%		
Température de l'étuve à AC		210°C		
Nombre d'émetteurs fermés		3 émetteurs		
Pression des rouleaux de Pad		Gauche (36psi)	Centre (30psi)	Droite (36psi)
Température de tissu à la sortie du four IR	Début de l'expérience	Gauche 81°C	Centre 70 °C	Droite 100°C
	Milieu de l'expérience	100°C	95°C	105°C
	Fin de l'expérience	126°C	100°C	150°C
Température de tissu à la sortie de l'étuve à AC	Début de l'expérience	Gauche 152°C	Centre 157°C	Droite 149°C
	Fin de l'expérience	Pratiquement constante (160°C)		
Vitesse de tissu		19 m/min		

Tableau 6.2 : Conditions opératoires utilisées à l'usine (*Dark Green2*).

D'après le Tableau 6.2, la même chose a été trouvée mais de façon plus accentuée. La température de tissu à droite de la sortie du four infrarouge est très élevée par rapport à gauche et à droite. Ceci a provoqué une petite augmentation de la différence de couleur ΔE . Tous les autres paramètres ont été bien contrôlés. Les trois courbes suivantes présentent des résultats intéressants.

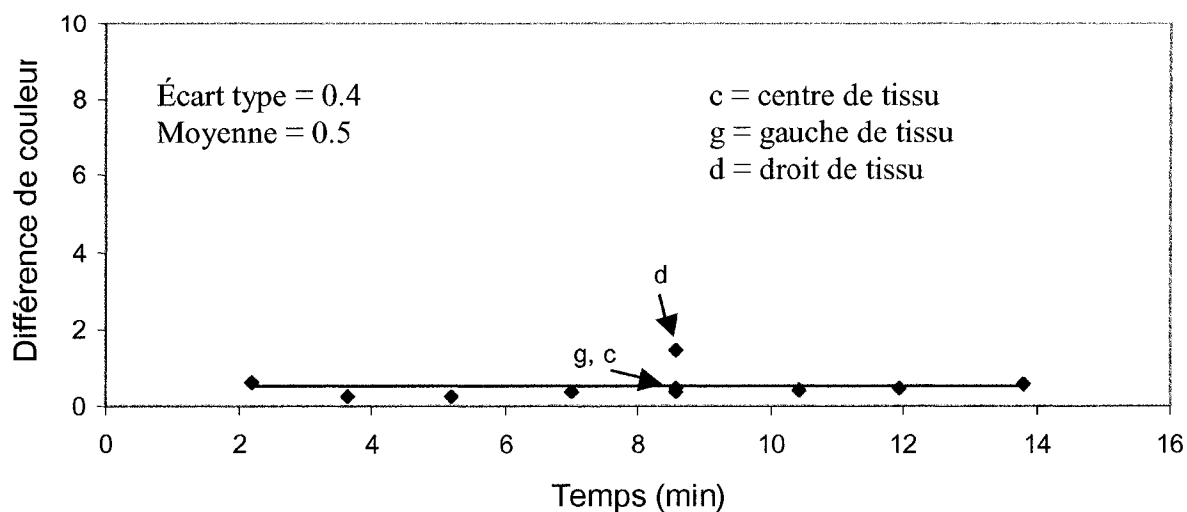


Figure 6.4 : Courbe de variation de différence de couleur en fonction du temps (*Dark Green2 Usine*).

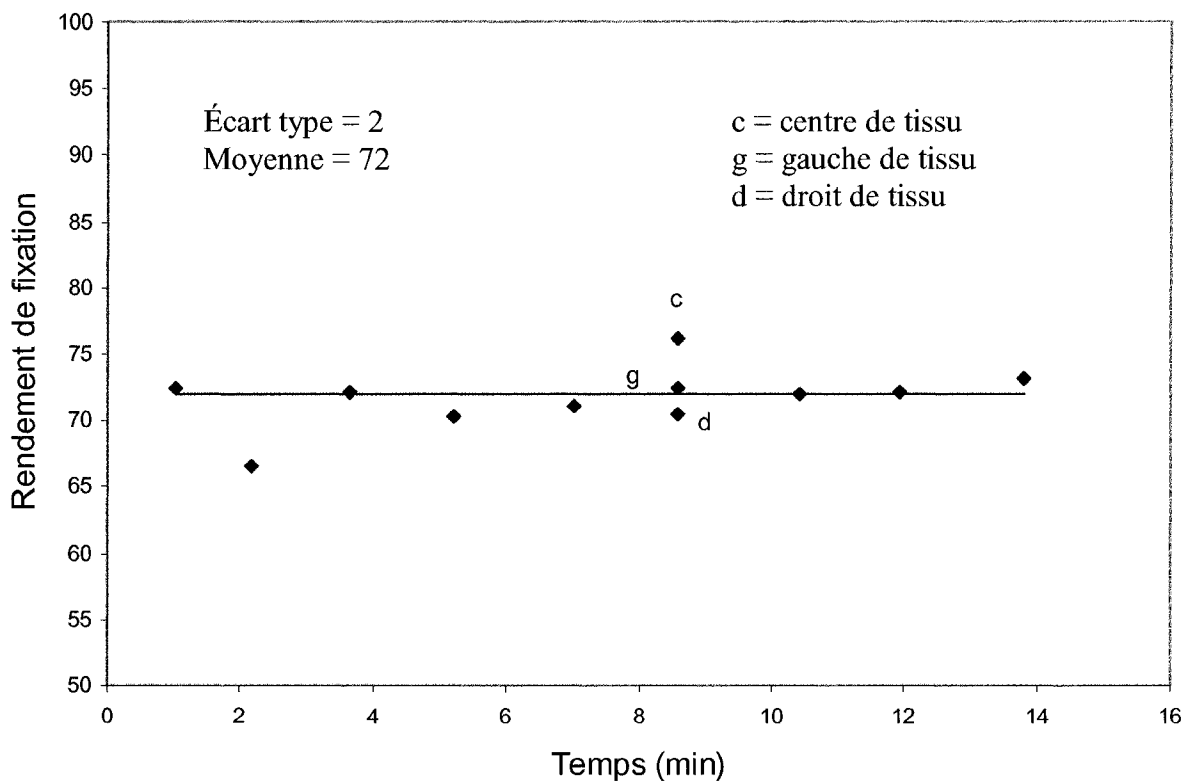


Figure 6.5 : Courbe de variation de rendement de fixation en fonction du temps (*Dark Green2 Usine*).

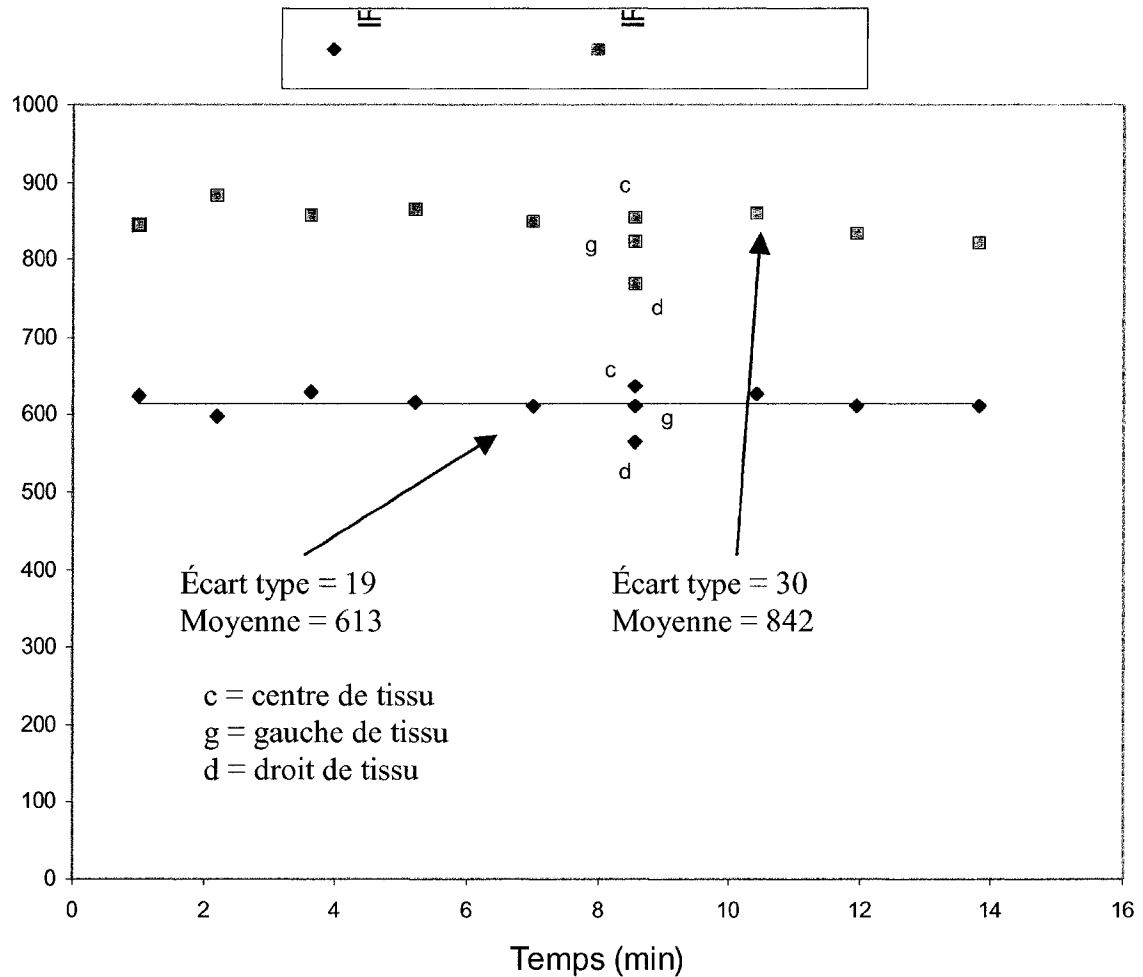


Figure 6.6 : Courbe de variation du fK en fonction de la longueur de tissu (*Dark Green2* usine)

6.1.3 *Violet2*

Cet essai a été fait dans la même journée et directement après la recette précédente. Après l'essai de la recette *Dark Green2*, le bain du foularda été vidé puis lavé. L'essai sur la recette *Violet2* a été commencé en laissant l'équipement en marche (sans éteindre les appareils).

Pour ne pas brûler le tissu, un leader a été gardé dans l'équipement. Les conditions opératoires utilisées dans cet essai sont les mêmes que la recette *Dark Green2* (tableau 6.2) à part la température qui a resté constante jusqu'à la fin de l'expérience. La seule explication évidente de ce changement est que le régime permanent est atteint après le premier essai. Les trois courbes suivantes présentent les résultats trouvés.

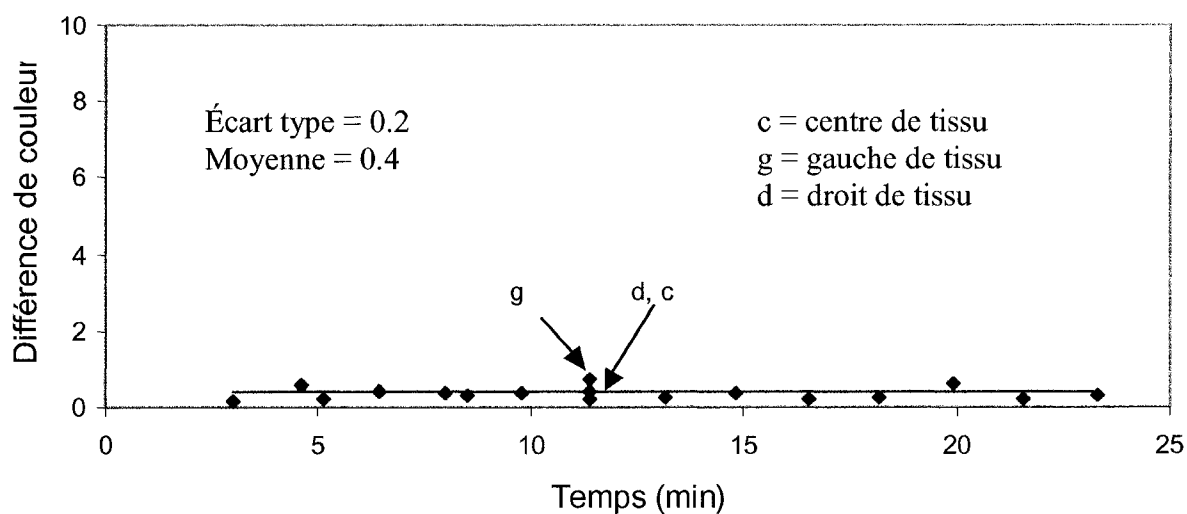


Figure 6.7 : Courbe de variation de différence de couleur en fonction du temps (*Violet2* Usine)

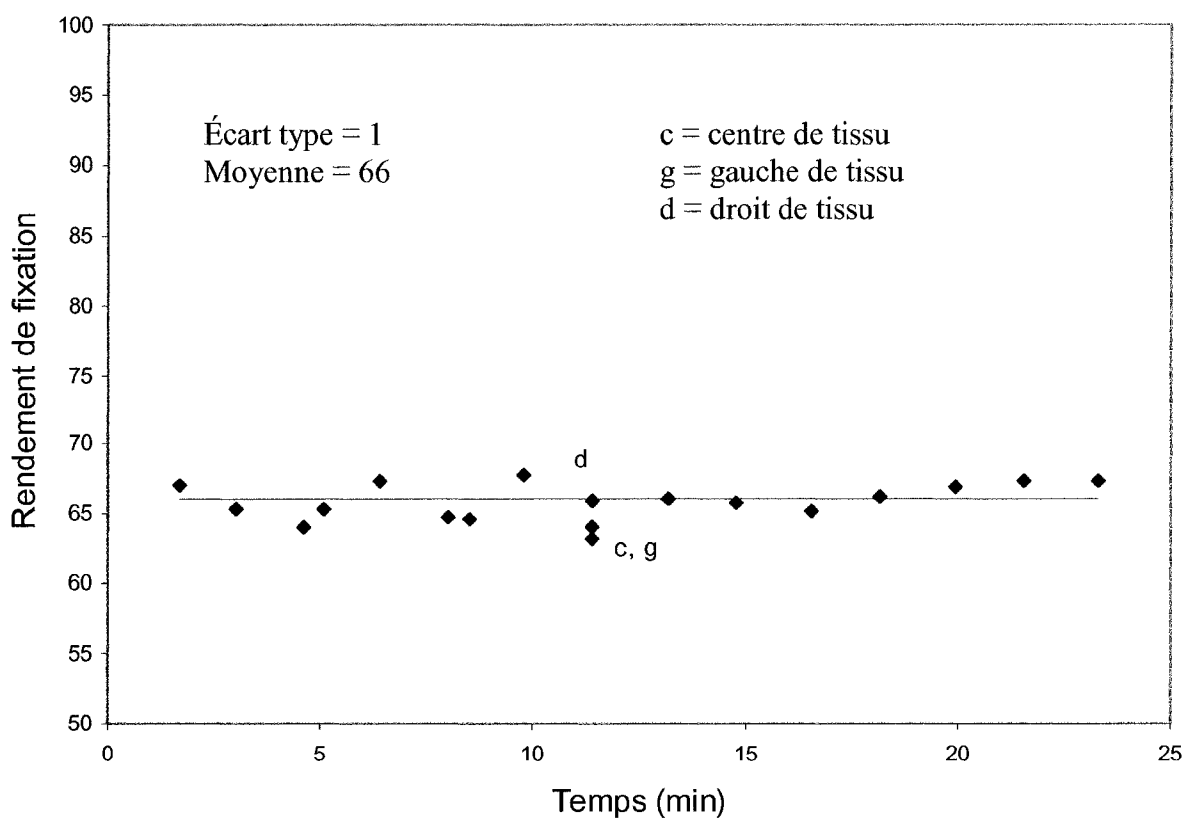


Figure 6.8 : Courbe de variation de rendement de fixation en fonction du temps (*Violet2* usine)

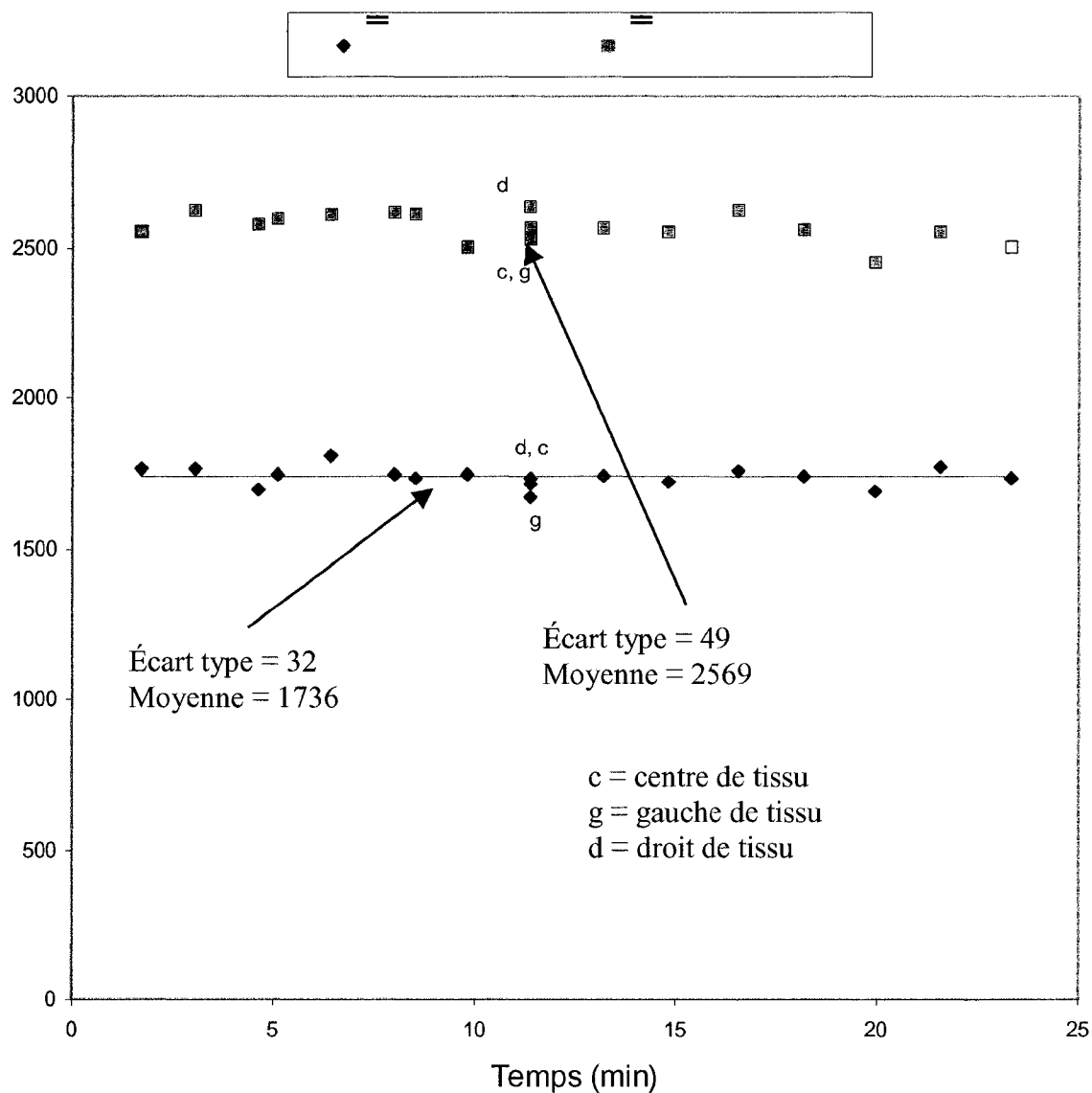


Figure 6.9 : Courbe de variation du fK en fonction de la longueur de tissu (*Violet2* usine)

6.2 Discussion des résultats obtenus à l'usine

Les résultats trouvés ont reproduit les mêmes coloration que ceux du laboratoire à l'exception de la recette *Peat Green2* qui a donné une coloration complètement différente de la couleur désirée à cause d'une faute de calcul non volontaire de la concentration du *Trisetile Blue RBL* 100%. Malgré le rendement de fixation qui est relativement un peu faible, la différence de couleur ΔE et le rendement de fixation Rdt sont beaucoup plus uniformes. Ceci a été bien confirmé par le calcul de fK (pour les échantillons lavés et non-lavés).

Les paramètres opératoires ont été contrôlés dans les deux recettes *Dark Green2* et *Violet2* et surtout dans la dernière recette après l'atteinte du régime permanent. Le tableau 6.3 explique bien ces résultats.

		<i>Peat Green2</i>	<i>Dark Green2</i>	<i>Violet2</i>
ΔE	Écart type	0.2	0.4	0.2
	Moyenne	1.1	0.5	0.4
Rendement de fixation (Rdt)	Écart type	3	2	1
	Moyenne	74	72	66
fK (lavé)	Écart type	34	19	32
	Moyenne	1089	613	1736
fK (non lavé)	Écart type	61	30	49
	Moyenne	1441	842	2569

Tableau 6.3 : Les valeurs de l'écart type et la moyenne pour ΔE , Rdt et fK des trois recettes (usine)

6.3 Comparaison entre les échantillons de l'usine et ceux du laboratoire.

6.3.1 Introduction

La comparaison entre les essais en continue de laboratoire et les essais de l'usine en terme de différence de couleur ΔE et de test de qualité (test de l'acétone, de dégorgement et de toucher) ont été faite. Les recettes analysées sont *Violet2* et *Dark green2*. La recette *Peat green2* n'a pas été analysée acause de la couleur produite à l'usine qui est différente de la couleur trouvée au laboratoire.

6.3.2 Test de l'acétone

Ce test comme déjà mentionné entraîne un drainage d'échantillon expérimental et standard après la coloration dans l'acétone durant 24 heures suivis du lavage et du séchage. Dans ce test l'échantillon de l'essai en continue au laboratoire a été utilisé comme standard.

L'évaluation du tissu a été faite en calculant la différence de couleur ΔE entre les échantillons avant et après le test plus la mesure de l'absorbance de la solution de l'acétone.

Ce test nous a montré qu'il n'y a aucune différence de couleur entre les échantillons avant et après le test pour les essais de l'usine et du laboratoire. Pour les échantillons teints par la recette *Dark green2*, ils présentent les mêmes absorbances pour les essais de l'usine et du laboratoire. Les échantillons teints par la recette *Violet2* au laboratoire dégorgent plus que ceux de l'usine. Ceci montre une forte solidité de la couleur pour les échantillons teints à l'usine.

Le Tableau 6.4 montre les résultats trouvés.

	Échantillons				Standard			
	Après acétone				Avant acétone			
	Usine	Labo	Usine	Labo	Usine	Labo	Usine	Labo
	# Violet2	# Violet2	# Dark green2	# Dark green2	# Violet2	# Violet2	# Dark green2	# Dark green2
<i>L</i>	30.940	34.940	50.090	55.510	30.600	34.210	49.410	55.360
<i>a</i>	9.970	9.900	-10.430	-9.230	9.540	9.140	-10.23	-9.370
<i>b</i>	-12.790	-11.740	0.170	1.410	-12.290	-11.070	-0.040	1.180
ΔE	0.742	1.249	0.739	0.308	0	0	0	0
<i>A</i>	7.204	13.508	2.426	2.763	—	—	—	—

Tableau 6.4 : Résultats du test d'acétone pour les échantillons teints au laboratoire et ceux teints à l'usine par le procédé IR+AC

6.3.3 Test de dégorgement

Ce test implique un lavage d'échantillon expérimental et standard après la coloration dans la machine à jet *Polycolor* suivi du lavage et du séchage. L'évaluation de ce test est faite de la même façon que le test d'acétone. Les résultats trouvés sont les mêmes que ceux trouvés par le test d'acétone. Le tableau suivant montre les résultats trouvés.

	Échantillons				Standard			
	Après Dégorgement				Avant dégorge ment			
	Usine	Labo	Usine	Labo	Usine	Labo	Usine	Labo
	# Violet2	# Violet2	# Dark green2	# Dark green2	# Violet2	# Violet2	# Dark green2	# Dark green2
<i>L</i>	31.090	35.150	50.590	56.550	30.600	34.210	49.410	55.360
<i>a</i>	10.050	10.700	-10.200	-9.410	9.540	9.140	-10.230	-9.370
<i>b</i>	-12.700	-11.650	-0.220	1.170	-12.290	-11.070	-0.040	1.180
ΔE	0.817	1.911	1.194	1.191	0	0	0	0
<i>A</i>	4.003	6.069	1.801	2.142	—	—	—	—

Tableau 6.5 : Résultats du test de dégorge ment pour les échantillons teints au laboratoire et ceux teints à l'usine par le procédé IR+AC

6.3.4 Test du toucher

D'après ce test, il n'y a pas de différence de toucher entre les deux échantillons teints à l'usine et ceux au laboratoire.

6.3.5 Différence de couleur entre le laboratoire et l'usine

Le Tableau 6.6 présente la différence de couleur, de *L*, de *a* et de *b* entre les échantillons colorés à l'usine et ceux au laboratoire pour les deux recettes: *Dark green2* et *Violet2*.

	Échantillons		Standard	
	Usine		Laboratoire	
	# <i>Dark green2</i>	# <i>Violet2</i>	# <i>Dark green2</i>	# <i>Violet2</i>
L	49.410	30.600	55.360	34.210
a	-10.230	9.540	-9.370	9.140
b	-0.040	-12.290	1.180	-11.070
ΔL	-5.95	-3.61	0	0
Δa	-0.86	0.40	0	0
Δb	-1.22	-1.22	0	0
ΔE	6.13	3.83	0	0

Tableau 6.6 : La différence de couleur et de L , a , b entre les échantillons teints au laboratoire et ceux teints à l'usine par le procédé IR+AC

Le Tableau 6.6 montre que la différence de couleur entre les échantillons de l'usine et ceux du laboratoire est due à la différence de clarté. Cette dernière est une conséquence de la différence de rétention (rétention de l'usine est 63% tandis que celle du laboratoire est 50%). Alors que la différence de a et de b est minime.

6.4 Conclusion

Les expériences faites à l'usine ont bien réussi et des bons résultats ont été réalisés. De plus, les colorations trouvées à l'usine sont similaires à celles trouvées au laboratoire.

La faisabilité et l'efficacité de notre procédé pilote a été bien confirmées.

D'après les essais faits au laboratoire et qui ont été extrapolés à l'usine, le paramètre clé pour avoir une bonne fixation des colorants réactifs sur le composant coton du tissu coton/polyester est le contrôle de la température de tissu à la sortie du four infrarouge. Ceci est facilement réglable après l'atteint du régime permanent qui prend d'après les paramètres de l'usine 45 min.

Pour le composant polyester, les colorants dispersés sont facilement fixés par n'importe quel four conventionnel à condition que la température consignée à l'intérieur soit 210°C et la température de tissu à la sortie soit autour de 180°C. Les points suivants peuvent récapituler les résultats de ces essais:

- Les essais de laboratoire ont été produits avec succès ainsi que les paramètres ont été bien extrapolés.
- Les rendements de fixation sont uniformes et intéressants.
- Les différences de couleur sont trop faible et plus uniforme que celles du laboratoire.
- Les tests de qualité ont donné les mêmes résultats que celle de laboratoire. De plus, la recette *Violet2* faite au laboratoire donne des réponses positives aux tests d'acétone et de dégorgement. Le toucher est acceptable et il ressemble aux essais de laboratoire.

7. CONCLUSIONS ET RECOMMANDATIONS.

Dans ce projet un sujet très important a été abordé dans l'industrie de la finition et l'enoblissement des textiles qui a resté jusqu'à date difficile à traiter. Le traitement de ce sujet a été fait dans un plan d'ingénierie et ce par la conception, l'optimisation, et l'extrapolation d'un procédé intéressant. Dans ce procédé, le four infrarouge a été utilisé durant ces dix dernières années par monsieur Broadbent pour la fixation des colorants réactifs sur le coton 100%. Ce four à rayonnement infrarouge a donné des résultats excellents et des uniformités de coloration impeccables comparativement aux procédés conventionnels, du four à air chaud ou *Cold-Pad-Batch* [ZHAO, 1999]. L'idée originale de ce procédé est tirée par monsieur Broadbent du procédé *Thermosol-Pad-Steam* et ce en remplaçant la partie *Thermosol* par une étuve à air chaud et la partie *Pad-Steam* par Pad plus four infrarouge. Ceci est pour la fixation d'un mélange de deux colorants réactifs et dispersés successivement sur le composant coton et le composant polyester d'un tissu coton/polyester 25/75%. La succession de ce procédé est le Pad, le four infrarouge et l'étuve à air chaud. Le rôle du pad est l'imprégnation de tissu par le mélange des colorants réactifs et dispersés. La fixation des colorants réactifs sur le coton se fait dans le four infrarouge. L'étuve à air chaud fixe les colorants dispersés sur le polyester et compéte la fixation des colorants réactifs sur le coton. Le Pad et le four infrarouge existaient dans notre laboratoire depuis plus que dix années alors que l'étuve à air chaud a été la première tâche à régler. La construction de l'étuve à air chaud a été faite par monsieur Gérard Bédard, technicien de département de génie chimique de l'Université de Sherbrooke.

Après cette étape les paramètres misent en jeu ont été optimisées comme le voltage du four infrarouge et la vitesse de défilement de tissu en se basant sur le toucher de tissu, le rendement de fixation et la différence de couleur. De plus, quatre recettes capables de donner des résultats intéressants ont été développées en utilisant notre procédé de coloration.

Des problèmes physico-chimiques ont été aussi solutionnés comme la non-compatibilité des colorants réactifs et dispersés dans le même bain, la migration des colorants dispersés vers la surface de tissu et l'agrégation du colorant bleu (*Trisetile Blue FBLN 300%*) dans l'eau en présence de l'alginate de sodium. Ainsi nous avons arrivé avec succès à faire des essais en continue au laboratoire et à l'usine. Ils ont donné des rendements de fixation acceptables avec des différences de couleur minimales. Quant à la différence entre notre procédé et celui de

l'épuisement qui est le plus utilisé actuellement dans l'industrie de textile, nous avons arrivé à des colorations plus foncées avec un gain de temps, du colorant et d'énergie abordables.

Dans le procédé infrarouge plus air chaud, beaucoup de problème environnemental ont été réglés en n'utilisant ni du sel ni d'acide. Malgré les différences de couleur trouvées entre le procédé IR+AC et l'épuisement, l'usine est capable par ces moyennes de réformer les compositions de recettes qui ont été optimisées. De plus, il est capable de créer à partir de nos recettes des nouvelles recettes.

Tout le travail réalisé durant ces deux dernières années dans ce projet est une initiation d'un procédé préliminaire qui n'a jamais vu le jour avant, d'où la nécessité de l'améliorer et le perfectionner afin qu'il devienne plus intéressant et plus utilisable par les industries de finition des textiles. De plus, ce travail peut être complété en développant d'autres recettes sans oublier que le succès de ce procédé est basé sur les deux points suivant:

- Il faut régler le problème de la non-compatibilité des deux colorants réactifs et dispersés dans le même bain.
- Il faut attendre le régime permanent du four infrarouge si nous voulons une bonne fixation des colorants réactifs sur le composant coton du tissu coton/polyester. Ceci donne une bonne uniformité de la couleur sur toute la nappe colorée.

Dans ce projet, d'autres procédés ont été réalisés plus aux moins importants mais ils ont donné des résultats excellents. Ces procédés ont été créés en permutant les unités qui existent dans notre laboratoire. Parmi eux, on trouve:

- **Cold-Pad-Batch plus l'étuve à air chaud.** Le premier procédé sert à fixer les colorants réactifs sur le composant coton du tissu coton/polyester alors que le deuxième sert à fixer les colorants dispersés sur le composant polyester.
- **L'épuisement plus l'étuve à air chaud.** Il fonctionne comme le procédé précédent
- **L'étuve à air chaud sans four infrarouge.** Dans ce procédé les deux colorants réactifs et dispersés ont été fixés sur le tissu coton/polyester dans l'étuve à air chaud et ce pour un temps de résidence de 2-3 min. Chaque fois le temps de résidence est augmenté dans l'étuve à air chaud, le rendement de fixation augmente. Sans oublier qu'à partir de 3 min de résidence, le toucher de tissu commence à devenir plus dur.

Ces procédés peuvent être optimisés dans l'avenir car ils ont donné par des essais aléatoires des résultats intéressants. Ceci donne aussi une idée sur le champ de création dans le domaine de textile qui est vraiment trop vaste.

BIBLIOGRAPHIE

BAUMANN, W., BROSSMANN, W.T., (1987), *Determination of relative colour strength and residual color difference by reflectance measurements*, Textile Chemist and Colorist , vol. 19, n°3, p. 32-35.

BROADBENT, A.D. (1986) *The Influence of vacuum extraction on the removal of unfixed reactive dyes from cotton fabrics*, Book of Papers, AATCC International Conference, Atlanta, p. 62-69.

BROADBENT, A.D., COTE, B., FECTEAU, T., KHATIBI-SARABI, P., THERIEN, N. (1994) *Pre-Drying textile fabrics with infrared radiation*, Textile Research Journal, vol 64, n°3, p. 123-129.

BROADBENT, A.D., THÉRIEN, N., ZHAO, Y. (1995) *Effects of process variables on the fixation of reactive dyes to cotton using infrared radiation*, Industrial & Engineering Chemistry Research, n°35, p. 943-947.

BROADBENT, A.D., THERIEN, N., ZHAO, Y. (May 1998) *Comparison of the thermal fixation of reactive dyes on cotton using infrared radiation or hot air*, Industrial & Engineering Chemistry Research, vol 37, n°5, p. 1781-1785.

BROADBENT, A. D. (1999), *La teinture des tissus de coton/polyester par fixation thermique des colorants aux moyens du chauffage par rayonnement infrarouge*, Étude de faisabilité présentée pour Hydro-Québec, Département de génie chimique Université de Sherbrooke, Québec.

CAMPAGNA, L., CHOTARD, B., CHRISTEN, N., GODIN, L., HOULE, A., NANTEL, R. (1988), *The influence of colour on drying and heating of a fabric using infrared radiation*, Book of Papers, AATCC International Conference, Nashville, p. 47-56.

CHABERT, J., DOUZE, J.J., VIALIER, P. (1978), *Le séchage tout électrique des nappes textiles*, Industrie textile, n°1081, p. 533-538.

CHALK, R.W., HOUSER, N.E. (November 1988) *Rapid dyeing concepts for polyester/cotton*, Textile Chemist and Colorist, vol. 20, n°11, p. 17-23.

CÔTÉ, B. (1988), *Modélisation et simulation du séchage des nappes textiles par rayonnement infrarouge*, Mémoire de M. Sc. A, Université de Sherbrooke, Québec, CANADA

COTÉ, B., THÉRIEN, N., BROADBENT, A.D., (1990), *Modélisation et simulation du séchage en continue des couches minces par rayonnement infrarouge*, Canadian Journal of Chemical Engineering, vol. 68, n°5, p. 786-794.

DHIB, R., (1994) *Modélisation simulation et contrôle numérique d'un procédé de séchage par radiation infrarouge*, Ph.D. Thèse, Université de Sherbrooke, Québec, CANADA

DHIB, R., BROADBENT, A.D., THÉRIEN, N., (1994), *Modeling and simulation of the drying thin sheets in a continuous infrared dryer*, Canadian Journal of Chemical Engineering, vol. 72, n°10, p. 894-905

DOSHI, S.M. (1975) *High temperature techniques for the colouration of textiles, II*, Colourage, vol XXI, n° 25, p. 29-35.

FORGET, C., BROADBENT, A.D., THÉRIEN, N. (1993) *Numerical control of a continuous infrared dryer*, Textile Research Journal, vol. 63, n°7, p. 404-414.

FORGET, C., (1990), *Régulation par micro-ordinateur du séchage d'une nappe textile en continu dans un four infrarouge*, Mémoire de M. Sc. A, Université de Sherbrooke, Québec, CANADA

FORTIN, R., LEBLANC, M.A., RAYMOND, S. (1987), *The impact of vacuum extraction on the continuous dyeing of cotton with reactive dyes*, Book of Papers, AATCC International Conference, Charlotte, N.C., p. 50-59.

HAMOUDI, S. (1990) *Étude du séchage et de la fixation des colorants réactifs par rayonnement infrarouge*, Mémoire de M. Sc. A, Université de Sherbrooke, Québec, CANADA, 127p.

HARDIN, R.I., PERKINS, W.S, PHILIPS, T.L., FULLER., J.G., COLQUITT, S.L., DAVIS, G., FARROW, J.C. (1986), *An evaluation of vacuum extraction in disperse dyeing of polyester*, Book of Papers, AATCC International Conference, Atlanta, p. 44-52.

HIHARA, T. (1987), *One step printing and continuous dyeing of polyester/cellulose blended fabrics using reactive disperse dyes*, Book of Papers, AAACC International Conference, Charlotte, N. C., p. 135-148.

MCDONALD, R. (1987) *Colour physics for industry*, Society of Dyers and Colourists, Bradford, UK, 293 p.

MUNCH, M., GUILLAUME, P.M.G., CHARPENTIER, M.J.L., ROBLOT, M.B. (Octobre 1985), *L'infrarouge électrique dans l'industrie textile*, X^e Forum Électro-Industriel National, Industries Textiles, Colmar, p. 1-19.

NOZET, H. (1976) *Textiles Chimiques Fibres Modernes*, Paris, Eyrolles, 465 p.

OKADA, S., YOSHIDA, S., ASHRAFI, S. H., SCHRAUFNAGEL, D. E., (2002), *The Canalicular Structure of Compact Bone in the Rat at Different Ages*, Microscopy and Microanalysis, vol. 8 , n°2, p.104, 12p

PERKINS, W.S, (1996), *Textile coloration and finishing*, Warren S. Perkins, Durham, North Carolina, 236 p.

PRESTON, C. (1986), *The dyeing of cellulose fibres*, Society of Dyers and Colourists, Bradford, UK.

SHUKLA, S.R., MATHUR, M.R., CHATTERJEE, L. (1998) *Selecting reactive dyes for all-in dyeing of polyester/cotton blends*, Journal of the Society of Dyers and Colourists, vol. 114, p. 254-257.

SINGLETON, R.W. (1980), *Electric infrared: textile applications in the 1980's*, Book of Papers, AATCC Technical Conference, p. 201-219

SLITINE, D.S., (1995), *Identification et commande en temps réel d'un procédé de séchage par rayonnement infrarouge*, Ph.D. Thèse, Université de Sherbrooke, Québec, CANADA

THÉRIEN, N., CÔTÉ, B., BROADBENT, A.D., (1991), *Statistical analysis of a continuous infrared dryer*, Textile Research Journal, vol. 61, n°4, p. 193-202

YANG, Y., LI, S. (March 2000) *One-step dyeing of polyester/cotton with disperse/reactive dyes*, American Dyestuff Reporter, vol. 32, n°3, p. 38-45.

YOSHIDA, S., HACHIYA, N., NODASAKA, N., AOYAMA, Y. (1993), *Aplastic cast study of dental tubules and related structures in human molar teeth*, Hokkaido J. Dent. Sci., 14, 140-146.

ZHAO, Y. (1999) *La fixation des colorants réactifs au coton aux moyens du rayonnement infrarouge*, Ph.D. Thèse, Université de Sherbrooke, Québec, 148 p.